



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

Vigilada Mineducación

**DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DEL BAMBÚ COMO TUBERÍA
TEMPORAL A TRAVÉS DEL MODELO DE UN BANCO HIDRÁULICO**

CAMILA ALEJANDRA CRUZ HERNÁNDEZ

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ
19 MAYO 2019

**DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DEL BAMBÚ COMO TUBERÍA
TEMPORAL A TRAVÉS DEL MODELO DE UN BANCO HIDRÁULICO**

CAMILA ALEJANDRA CRUZ HERNÁNDEZ

Trabajo de Grado modalidad de investigación

TUTOR:
ING. FELIPE SANTAMARÍA ÁLZATE

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ
19 MAYO 2019



Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:

Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Compartir bajo la Misma Licencia — Si altera o transforma esta obra, o genera una obra derivada, sólo puede distribuir la obra generada bajo una licencia idéntica a ésta.

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá mayo 2019

Dedicatoria.

A mi padre José por su sabiduría, ejemplo, apoyo y cariño durante toda la carrera, pero especialmente por su colaboración en este trabajo de grado. Agradezco que me haya ayudado sin titubear en algún momento en la ejecución del modelo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme todos los medios y oportunidades para ingresar a la educación superior y por rodearme de personas sabias y con grandes valores.

Al ingeniero Felipe Santamaría por su asesoría profesional, orientación, acompañamiento, atención y sobre todo el cordial aporte de sus conocimientos. Me dio la estimulación y la credibilidad para desarrollar la idea.

Al personal de laboratorio de Ingeniería Civil de Universidad Católica de Colombia, especialmente al Señor Javier Mendoza, quien me brindó toda la asesoría constructiva y técnica del proyecto. Agradezco su paciencia, amabilidad y gran colaboración en la construcción del modelo para los ensayos.

Agradezco a mi familia por la compañía en la toma de datos, especialmente a mi mamá quien con su amor incondicional me motivó en la realización de este trabajo.

CONTENIDO

1.	ANTECEDENTES Y LIMITACIONES	13
1.1.	EL BAMBÚ COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN.....	13
1.1.	INICIOS EN CHINA	13
1.2.	ACUEDUCTO EN BAMBÚ ROMANO	14
1.3.	LIMITANTES DEL MATERIAL COMO TUBERÍA	15
1.4.	RIEGO POR GOTEIO DE BAMBÚ.....	16
2.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	20
3.	JUSTIFICACIÓN.....	21
4.	MARCO TEÓRICO	22
4.1	RUGOSIDAD ABSOLUTA	22
4.2	LOS EXPERIMENTOS DE NIKURADSE	22
4.3	RUGOSIDAD RELATIVA.....	22
4.4	PÉRDIDAS DE CARGA.....	23
4.5	NUMERO DE REYNOLDS	23
4.6	PERDIDAS POR FRICCIÓN	25
4.7	PERDIDAS POR ACCESORIOS.....	25
4.8	CAUDAL	26
4.9	CELERIDAD	26
5	ESTADO DEL ARTE	29
5.1	FLUJO EN TÉRMINOS DE PRESIÓN.....	29
5.2	BAMBÚ, IDEAL PARA HACER TUBERÍAS.....	29
5.3	MÉTODO PARA MANUFACTURAR TUBERIA ESTRUCTURAL CON GUADUA ANGUSTIFOLIA.....	31
6	OBJETIVOS.....	35
7	METODOLOGÍA.....	36
8	SEGUIMIENTO A LA METODOLOGIA	38
8.1	RECOLECCION DE INFORMACION A COMPARAR	38
8.1.1	Características de tubería de PVC.....	38
8.2	DISEÑO DEL BANCO HIDRAULICO.	40
8.3	CONSTRUCCIÓN DEL MODELO	42

8.3.1	Materiales	42
8.4	PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN	43
9	ENSAYOS DE LABORATORIO.....	51
9.1	PRESION DE AIRE	51
9.2	MODULO DE ELASTICIDAD.....	53
9.3	PERDIDAS DE PRESION EN EL BANCO HIDRAULICO	54
10	RESULTADOS DE LABORATORIO	55
10.1	EJEMPLO DE CÁLCULOS.....	63
10.2	PRESIONES Y FACTOR DE FRICCIÓN PARA EL PVC, SEGÚN PAVCO:.....	65
11	ANALISIS DE RESULTADOS.....	66
11.1	CARACTERIZACION DEL BAMBÚ.....	66
11.2	MODELO FUNCIONAL	66
11.3	PRUEBA PRESION DE AIRE	66
11.4	PRUEBA PERDIDAS DE PRESION	67
11.5	PRUEBA DEL MODULO DE ELASTICIDAD PARA EL CALCULO DE LA CELERIDAD.....	68
12	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
12.1	PRUEBA DE PRESIÓN DE AIRE:	69
12.2	PRUEBA PARA LAS PERDIDAS DE PRESIÓN.....	69
12.3	PRUEBA DEL MODULO DE ELASTICIDAD PARA EL CALCULO DE LA CELERIDAD.....	70
12.4	RECOMENDACIONES Y MEJORAS	71
	BIBLIOGRAFÍA.....	72
	ANEXOS.....	75

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Valores de k para hallar la celeridad	27
Tabla 2 Caudales y presiones mínimas de los aparatos sanitarios	29
Tabla 3 Diámetros según tipo de Bambú	31
Tabla 4 Pérdidas de presión en m/m tubería PVC.....	39
Tabla 5 Medidas del bambú a utilizar	55
Tabla 6 Presiones máximas.....	56
Tabla 7 Datos para módulo de elasticidad	57
Tabla 8 Datos de presión tubería de ½"	58
Tabla 9 Datos de presión tubería de ½"	59
Tabla 10 Cálculo de presiones y su perdida tubería ½"	60
Tabla 11 Cálculo de presiones y su perdida tubería ¾"	60
Tabla 12 Resultados de pérdidas y factor de fricción tubería 1/2"	60
Tabla 13 Resultados de pérdidas y factor de fricción tubería 3/4"	61
Tabla 14 Cálculos de perdidas experimentales tubería de ½"	75
Tabla 15 Cálculos de perdidas experimentales tubería de 3/4"	75
Tabla 16 Cálculos de pérdidas teóricas por Colebrook.....	76
Tabla 17 Módulo de elasticidad para celeridad.....	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Casa habitación (Desplante de columnas y vigas de bambú)	13
Figura 2. Acueducto –Puente.....	15
Figura 3 Riego por goteo de bambú	17
Figura 4 Esquema de construcción del sistema de riego por goteo de bambú.....	18
Figura 5 Principio de distribución de agua en el sistema de riego por goteo de bambú.....	19
Figura 6 Pruebas de nikuradse con tuberías con rugosidad de arena.....	23
Figura 7 Flujo laminar y turbulento.....	24
Figura 8 Pérdidas de presión a través de la tubería con válvulas cerradas	25
Figura 9 Tubería dañada por golpe de ariete.....	28
Figura 10 Grafica de gradiente	28
Figura 11 Construcción de tubos a presión en bambú.....	30
Figura 12 Guadua angustifolia	32
Figura 13 Molde de dos mitades y de abertura longitudinal.....	33
Figura 14 Extracción de fibras luego de descomponer la lignina	33
Figura 15 Cinta plana enrollada manualmente	34
Figura 16 Pre moldeo de las fibras resultantes.....	34
Figura 17 Producto final de tubería con diámetro comercial.....	34
Figura 18 Tuberías PVC para diferentes usos	38
Figura 19 Bomba pearl Centrifuga 1/2 Hp	40
Figura 20 Modelación Para cálculo de caudal de la bomba.....	41
Figura 21 Modelo del Banco hidráulico de tubería de Bambú	42
Figura 22 Representación de las tuberías de bambú a PVC	44

Figura 23 Corte de bambú con segueta.....	44
Figura 24 Visualización de nudos de Bambú	45
Figura 25 Cubrimiento de agujeros con bicarbonato y pegante instantáneo	45
Figura 26 Collar de derivación y reducción ranurada.....	46
Figura 27 Colocación collarín de derivación y manómetros.....	46
Figura 28 Uniones pvc con soldadura.....	47
Figura 29 Uniones con Tés y Codos.....	47
Figura 30 Replanteo	48
Figura 31 Unión a tanque con niple	48
Figura 32 Instalación del sistema a la bomba	49
Figura 33 Balde para Medición de Caudal.....	50
Figura 34 Montaje Principal	50
Figura 35 Montaje prueba presión de aire	51
Figura 36 Montaje de para las 2 tuberías -Presión de aire	52
Figura 37 Falla de uno de los bambús secos	52
Figura 38 Prueba de carga y deflexión	53

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 HOJA DE CÁLCULO DE EXCEL	75
ANEXO 2 MODELO BANCO HIDRÁULICO	77
ANEXO 3 ANTEPROYECTO DE GRADO.....	77
ANEXO 4 VIDEOS DEL FUNCIONAMIENTO BANCO HIDRAULICO.....	77

1. ANTECEDENTES Y LIMITACIONES

1.1. EL BAMBÚ COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

Según el Ingeniero Juan Carlos Rodríguez “El bambú es uno de los materiales usados desde la más remota antigüedad por el hombre para aumentar su comodidad y bienestar. En el mundo de plástico y acero de hoy, el bambú continúa aportando su centenaria contribución y aun crece en importancia. Gran parte de la humanidad utiliza a diario el bambú debido a que se representa como una alternativa ante materiales más costosos y tal vez a un futuro su utilización sea de forma masiva, como fuente de energía y reemplazo de madera de árboles por tratarse de un material fácilmente renovable. Más de 1 billón de personas habitan en casas de bambú, alcanzando en algunas regiones del mundo una importancia gravitante, este es el caso de Bangladesh donde el 73% de sus habitantes habita en este tipo de viviendas, otro ejemplo es la ciudad de Guayaquil donde el 50% habita en este tipo de casas, lo que corresponde a 1 millón de personas. Las propiedades antisísmicas, han contribuido a valorizar este material desde el punto de vista estructural.”¹ (El Bambú como Material de Construcción , 2006)

Figura 1 Casa habitación (Desplante de columnas y vigas de bambú)



Fuente: El Bambú como Material de Construcción . *Conciencia Tecnológica* No. 31, 1-3. Ing. Rodriguez, J. C. (2006).

1.1. INICIOS EN CHINA

El bambú se registró por primera vez en uso hace unos 5.000 años en la antigua China, donde a menudo se utilizaba para construir casas en los árboles. Se remonta a la dinastía Han en el año 206 a 221 AC, el bambú se utilizaba para hacer papel y libros, mientras que el avance rápido de la dinastía Ming (1386-1644), fue utilizado

¹ Extraído del Artículo científico: El Bambú como Material de Construcción . *Conciencia Tecnológica* No. 31, 1-3. Ing. Rodriguez, J. C. (2006).

para la ropa de cama y el suelo. El bambú ha sido objeto de un uso en una variedad de formas, e incluso tiene un poco de sentido práctico en la medicina china y la cocina.² (Maderero, 2016)

1.2. ACUEDUCTO EN BAMBÚ ROMANO

En la antigua Roma se creó un sistema de acueducto con un recorrido de 50 Km así lo **confirma el siguiente artículo vía web publicado en 2010**:

“Los romanos construyeron un acueducto de 50 km desde Uzès a Nîmes en Francia con una caída total de aproximadamente 17 metros y una pendiente promedio de 1/3000. ¿Cómo determinaron la caída y mantienen el gradiente durante la construcción? (Meadows, 2010)

Lo realizaron con el bambú. Con una longitud de unos 10-20 cm de diámetro, relativamente grande.

Medio lleno de agua, podía colocarse horizontalmente en caballetes y ser utilizado para diseñar un levantamiento de nivelación, desde Uzès hasta Nîmes. Utilizándolo como un telescopio, podrían usar pequeñas boyas flotando en el agua en cada extremo para ver un punto a poca distancia. Las estacas clavadas en el suelo registrarían el nivel en un punto dado, antes de que el bambú se mueva para ver la siguiente sección”. (Meadows, 2010)

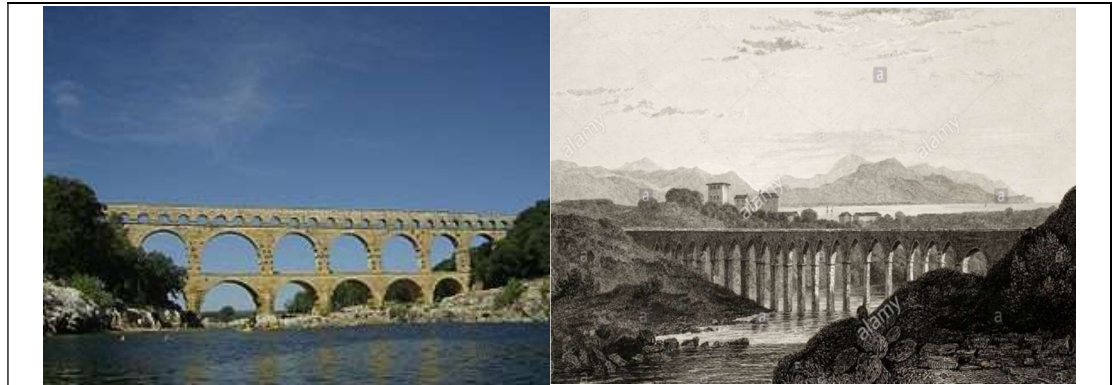
Antes de hacer esto, los romanos no tendrían forma de saber si la ruta planeada sería cuesta arriba o cuesta abajo. “Un equipo habría salido de Uzès y Nîmes, cada uno usando un tubo de bambú para ver un contorno razonablemente preciso a lo largo de los lados de los valles. Cuando los equipos se encontraron, verían la diferencia de elevación. Entonces la operación se repetiría, esta vez permitiendo un gradiente deducido de la distancia horizontal y la caída”³. (David, 2010)

“Durante las inspecciones, los romanos habrían descubierto que un acueducto en el Pont du Gard evitaría un largo desvío. Sabían que la tierra era una esfera, por lo que la operación de nivelación (similar a las del canal "peón" en Inglaterra durante el siglo XVIII) necesitaría una corrección para permitir la curvatura de la tierra para evitar que la medición de nivelación suba levemente en ambas direcciones.” (Meadows, 2010). Así es como se muestra

² Forestal Maderero, 2010 . Disponible en <https://www.forestalmaderero.com/articulos/item/la-historia-de-bambu.html>

³ Rogueclassicism , 2010. Disponible en <https://rogueclassicism.com/2010/07/14/roman-aqueducts-and-bamboo/>

Figura 2. Acueducto –Punto



Fuente: (David, 2010) (Alamy, 2010)

1.3. LIMITANTES DEL MATERIAL COMO TUBERÍA

Las razones por las cuales no se han vuelto a usar tuberías en bambú en el ámbito hidráulico, es principalmente porque su ciclo de vida que es comparativamente más corto respecto a los materiales convencionales de transporte de agua; además de que su uso básico está asociado a obras de estructurales.

El bambú tiende pudrirse por la acción permanente de la humedad. Esto se traduce en que se produce una filtración de agua en las fibras por el efecto capilar. Sin embargo esto se ha solucionado empleando impermeabilizantes tradicionales como alquitranes, láminas bituminosas o polietileno.⁴ (Ordoñez, y otros, 2002)

Otras limitantes que podría tener el bambú se muestran a continuación:

- Al secarse se contrae y se reduce su diámetro, presenta problemas especialmente con el hormigón, en general pierde o gana humedad en equilibrio higroscópico con el medio ambiente.
- El revestimiento exterior ha de ser estancado al agua y resistente a la humedad además de protegerse con aleros generosos.

⁴Manual para la Construcción sustentable con Bambú
https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/documentos/MANUAL_PARA_LA_CONSTRUCCION_SUSTENTABLE_CON_BAMBU.PDF

- Es altamente combustible por lo que requiere una protección por diseño. Normalmente se ha de especificar un revestimiento interior incombustible en los muros.
- Las uniones se deben hacer con empalmes como la madera y hay que acudir a piezas especiales de diseño.⁵ (Inuca, y otros, s.f)

1.4. RIEGO POR GOTEO DE BAMBÚ

Durante más de 200 años, los agricultores tribales de la parte noreste de la India, en el estado de Mega laya, han estado utilizando una técnica indígena de riego por goteo de bambú para irrigar sus cultivos de plantación. Estos agricultores de las áreas de las colinas de Jaintia y Khasi han desarrollado este sistema de extracción de manantiales y agua corriente para cultivar hojas de betal, pimienta negra y arecanut.

⁵ Construcciones en Bambú, Benjamin Inuca. Disponible en: <https://sites.google.com/site/redhazewiththewidow/portofolio/que-es-el-bambu>

Figura 3 Riego por goteo de bambú



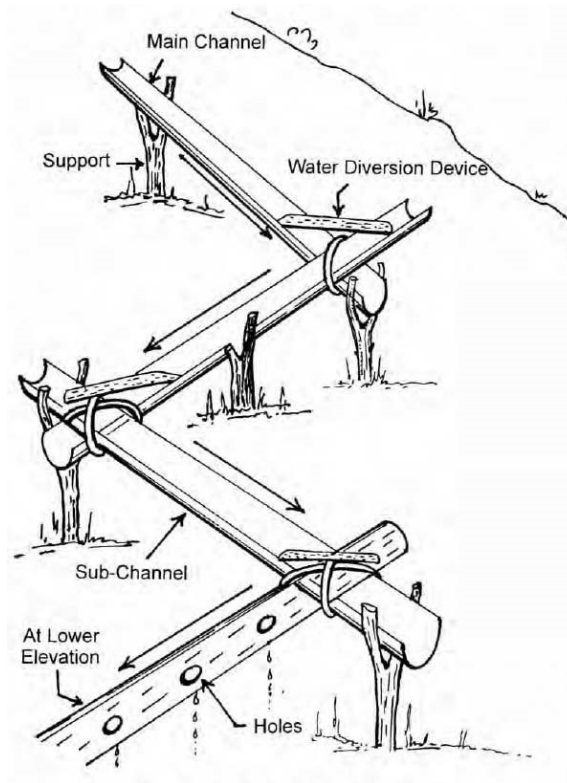
Fuente: “Indigenous Techniques of Soil and Water Conservation in North Eastern Region of India”, P. P. Dabral, 12th ISCO Conference, Beijing 2002

- Mecanismo

El sistema de riego por goteo de bambú se basa en la gravedad y las pendientes pronunciadas facilitan su implementación. (NADAR, y otros, 2006)

El agua de una fuente ascendente es extraída y llevada a la plantación por un canal principal de bambú. Por lo general, estas fuentes de agua están lejos de las plantaciones y el canal principal de bambú recorre cientos de metros, en algunos casos incluso unos pocos kilómetros. El agua se regula luego a través de una compleja red de bambú de canales secundarios y terciarios a todas las partes y esquinas de una plantación, hasta el fondo de la colina. (RAVINDRA, s.f)

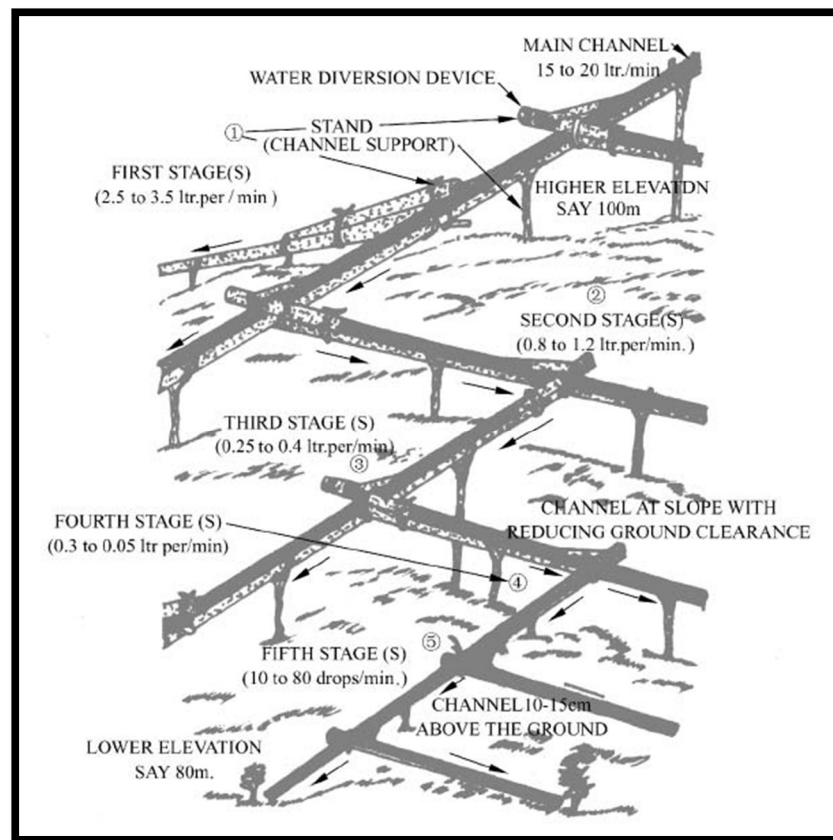
Figura 4 Esquema de construcción del sistema de riego por goteo de bambú.



Fuente: (Dabral, 2002)

Estas redes de bambú usualmente tienen 4-5 etapas de desviación [Figura 5 Principio de distribución de agua en el sistema de riego por goteo de bambú.] antes de que se entregue el agua en la base de la planta. 18-20 L/min de agua del canal principal se reducen a 10-80 gotas por minuto al final de la red [Figura 5], (1, 2, 6). Después de este largo viaje, el agua gotea o gotea gota a gota en la base de la planta. A veces el agua se desvía a casas distantes para uso doméstico.⁶ (RAVINDRA, s.f)

Figura 5 Principio de distribución de agua en el sistema de riego por goteo de bambú.



Fuente: (Borthakur, 1992)

- Construcción

Se utilizan bambúes de diversos diámetros para construir los canales, estructuras de soporte, tuberías de desvío y tiras [Ilustración V]. Los canales se sostienen sobre el suelo mediante palos de bambú o de madera en forma de Y. Un tramo de canal está amarrado a otro por finas tiras de bambú. Para construir la red de bambú se utilizan herramientas indígenas como un dao, un tipo de hacha local y cinceles de diversas formas y diseños. Dos trabajadores pueden construir una red que cubre 1 hectárea de tierra en 15 días. Se construyen con tal habilidad que el desperdicio de agua por fugas es mínimo. La construcción se basa en una regla general simple: la relación del diámetro del canal primario al terciario determina la cantidad de agua que llegará a los árboles. Es una habilidad sutil que viene con años de observación y experiencia. (Jacob Nitya, 2011)

- Costo y mantenimiento

El costo involucrado en la construcción del sistema es mínimo. El bambú está disponible gratuitamente en la India, en el estado de Meghalaya . Por lo general, el propio agricultor establece el sistema en su plantación con la ayuda de 1 o 2 trabajadores. La región recibe fuertes lluvias, por lo que cada instalación dura aproximadamente 2-3 años. Después de la temporada de lluvias, se elimina la maleza y se proporcionan refuerzos. Se deja que el bambú viejo se pudra, que con el tiempo vuelve al suelo como humus. (Green Rural Development :Story, 2011)

Se forman cooperativas y cada agricultor proporciona su habilidad y trabajo para construir y mantener el sistema. La distribución del agua de una plantación a otra se realiza desviando el agua a horarios fijos. Esto evita la aparición de conflictos entre varios agricultores. Por este método, toda la comunidad trabaja en armonía, compartiendo los limitados recursos de manera juiciosa.

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

¿Qué características hidráulicas presenta una tubería en materiales naturales como “el bambú” para el transporte de agua?

Se conocen muchas propiedades mecánicas del bambú para la construcción de infraestructuras y en la decoración, sin embargo cabe la posibilidad de encontrar las propiedades hidráulicas que este tiene para ampliar su uso como tubería a presión, el cual difiere a los sistemas de riego antiguos aplicados con esta madera el cual es de flujo libre.

¿Cómo preparar un plan de contingencia para el abastecimiento de agua de un sector rural? ¿Cómo hacer que el sector rural se adquieran medidas temporales e inmediatas? Sin lugar a dudas una tubería hecha de materiales que estén al alcance de la comunidad podría ser una contribución para solucionar por un lapso de tiempo, en cierta manera, una necesidad inminente y que al ser de gran importancia requiere de tiempo para una solución definitiva.

Además ciertas soluciones temporales suele realizarse con materiales que simplemente no vuelven a usarse o se desechan indebidamente los cuales al no biodegradarse adecuadamente pueden producir gases o emisiones contaminantes las cuales son los aspectos menos deseables en la actualidad.

Por tanto, debido a las pocas investigaciones que se tiene del Bambú en Colombia se busca conocer si este material podría funcionar como sistema de transporte de agua y, si es relevante, de otros fluidos petroquímicos.

3. JUSTIFICACIÓN

Reducir el impacto ambiental que generan los equipos y maquinas eléctricas es una excelente alternativa y económicamente reduce los costos para familias de bajos recursos; de esta manera se busca caracterizar el bambú, para que en base a sus propiedades pueda optarse como tubería para el paso de un flujo de agua.

El empleo de la guadua tiene un alto valor cultural, puesto debido a su accesibilidad, a su bajo costo y a sus propiedades estéticas, físico-mecánicas y estructurales se le han dado múltiples usos de tipo utilitario, doméstico, artesanal y constructivo (CARDENAS, y otros, 2016). Y como todo, tiene sus limitantes, pero con aditivos y resinas pueden mejorar sus características y aumentar su vida útil hasta cierto punto.

Dar a conocer los diferentes procesos constructivos para la construcción de algún tipo de red de transporte de agua en viviendas en material reciclable, es lo que se planteara en este documento; en específico el sistema de conexión y suministro de agua; con cada paso detallado para mayor facilidad y entendimiento.

Además de si su uso llegase a ser factible, la disponibilidad para la obtención del material podría ser más fácil en lugares en los que usualmente se necesita: zonas rurales o en vías terciarias.

En una de las medidas en que podría aprovecharse el bambú puede ser en zonas que ocurra algún tipo desastre natural el cual se destruya una parte o la totalidad del sistema de acueducto. Por lo tanto, se quiere demostrar que sus costos pueden reducirse de cierta manera y que su accesibilidad puede reducir gradualmente los tiempos de construcción

4. MARCO TEÓRICO

4.1 RUGOSIDAD ABSOLUTA

En el interior de los tubos comerciales existen protuberancias o irregularidades de diferentes formas y tamaños cuyo valor medio se conoce como rugosidad absoluta (K), y que puede definirse como la variación media del radio interno de la tubería.

Un mismo valor de rugosidad absoluta puede ser muy importante en tubos de pequeño diámetro y ser insignificante en un tubo de gran diámetro, es decir, la influencia de la rugosidad absoluta depende del tamaño del tubo. (Ware)

4.2 LOS EXPERIMENTOS DE NIKURADSE

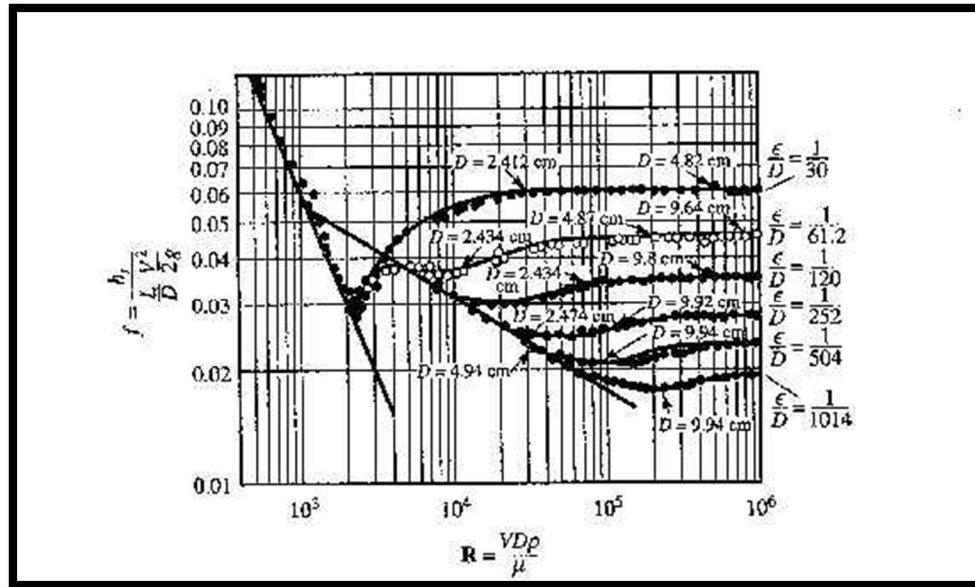
Permitieron determinar el valor de esta rugosidad absoluta. Consistieron en producir una rugosidad artificial pegando en el interior de un tubo de vidrio (liso) áridos de diferentes granulometrías tamizados, es decir, de rugosidad conocida, hasta conseguir una pérdida de carga igual que la producida en un tubo comercial de un material determinado con igual longitud y diámetro que el de vidrio. Estos tubos artificialmente preparados se conocen como tubos arenisca. (Ware)

4.3 RUGOSIDAD RELATIVA

La rugosidad relativa (e), que se define como el cociente entre la rugosidad absoluta y el diámetro de la tubería. (Shames)

$$\varepsilon = \frac{K}{D}$$

Figura 6 Pruebas de nikuradse con tuberías con rugosidad de arena



Fuente: (Streeter, y otros, 1999)

4.4 PÉRDIDAS DE CARGA

“Sucede cuando el flujo de un líquido en una tubería viene acompañado de una pérdida de energía, que suele expresarse en términos de energía por unidad de peso de fluido circulante, que se denomina pérdida de carga y que tiene dimensiones de longitud. La pérdida de carga está relacionada con otras variables fluido dinámicas según el tipo de flujo laminar o turbulento. Además de las pérdidas de carga lineales (a lo largo de los conductos), también se producen pérdidas de carga singulares en puntos concretos como codos, ramificaciones, válvulas, etc.” (Industriales, 2004-2005)⁷

4.5 NUMERO DE REYNOLDS

Según el sitio web Valvias lo define como un parámetro adimensional cuyo valor indica si el flujo sigue un modelo laminar o turbulento.

El número de Reynolds depende de la velocidad del fluido, del diámetro de tubería, o diámetro equivalente si la conducción no es circular, y de la viscosidad cinemática o en su defecto densidad y viscosidad dinámica. (Valvias, 2007)

⁷ Sacado de Industriales, E. I. (2004-2005). *PRACTICAS DE MECANICA DE FLUIDOS*. Obtenido de PERDIDAS DE CARGA

$$Re = \frac{(Dv)}{\nu}$$

Donde:

D diámetro de la tubería en m.

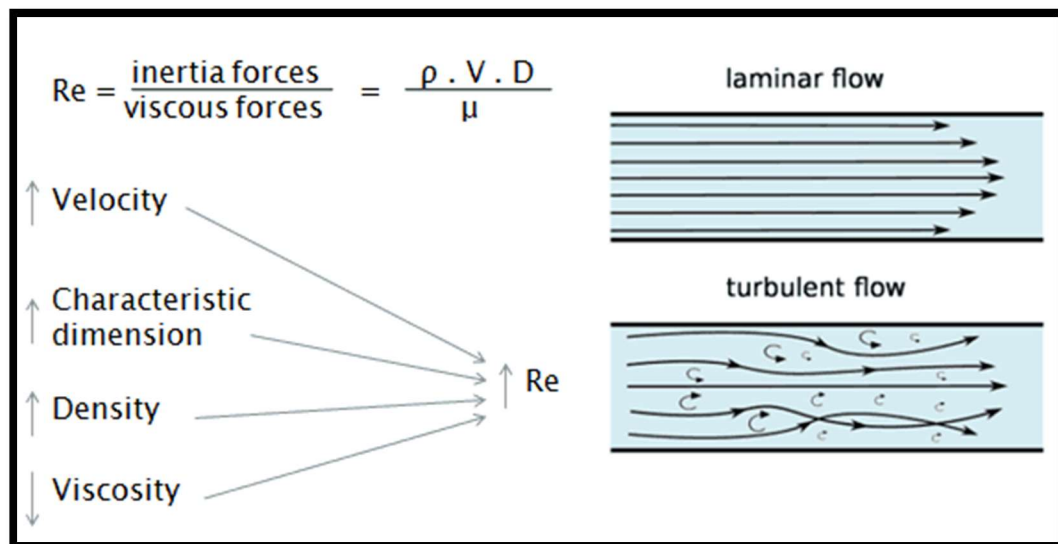
V velocidad del fluido en m/s

ν Viscosidad cinemática (1.13E-6 m²/s para el agua).

La una tubería circular se considera:

- $Re < 2000$ El flujo sigue un comportamiento laminar.
- $2000 < Re < 4000$ Zona de transición de laminar a turbulento.
- $Re > 4000$ El fluido es turbulento.

Figura 7 Flujo laminar y turbulento



Fuente: (Schlichting, y otros, 2000)⁸

⁸ Schlichting, H., & Gersten, K. (2000). Nuclear Power. Obtenido de Boundary-Layer Theory, Springer-Verlag : <https://www.nuclear-power.net/nuclear-engineering/fluid-dynamics/reynolds-number/>

4.6 PERDIDAS POR FRICCIÓN

“Las pérdidas por fricción se presentan porque al estar el fluido en movimiento habrá una resistencia que se opone a dicho movimiento (fricción al fluir), convirtiéndose parte de la energía del sistema en energía térmica (calor), que se disipa a través de las paredes de la tubería por la que circula el fluido”. (MOTT, 2006)

El cabezal de fricción de la tubería es la cantidad de pérdida de energía debido a la fricción del fluido que circula a través de las tuberías y accesorios. Es necesario que haya fuerza para mover el fluido contra a la fricción, de la misma manera que se necesita fuerza para levantar peso.

p_v = Pérdida de presión

λ = Rugosidad de la tubería

D = Diámetro del tubo

L = Longitud de la tubería

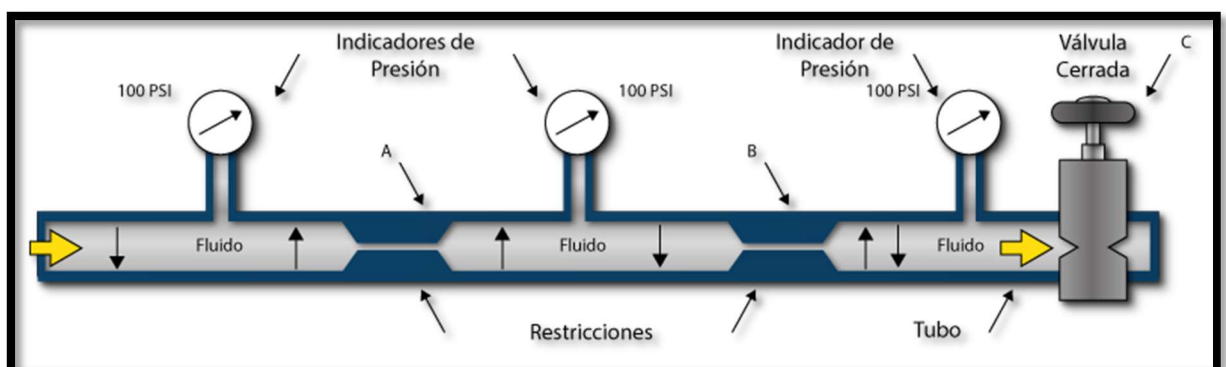
ρ = Densidad del líquido

v = Velocidad del flujo

4.7 PERDIDAS POR ACCESORIOS

Las válvulas y accesorios se encargan de controlar la dirección o el flujo volumétrico del fluido generando turbulencia local en el fluido, esto ocasiona una pérdida de energía que se transforma en calor. Estas últimas pérdidas son consideradas pérdidas menores ya que en un sistema grande las pérdidas por fricción en las tuberías son mayores en comparación a la de las válvulas y accesorios.

Figura 8 Pérdidas de presión a través de la tubería con válvulas cerradas



Fuente:(ASHM, 2015)

4.8 CAUDAL

Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección de un ducto, ya sea tubería, cañería, oleoducto, río, canal, por unidad de tiempo. Generalmente, el caudal se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área determinada en una unidad de tiempo específica. (S.A.S.)

4.9 CELERIDAD

Es la velocidad de propagación de la onda de presión a través del agua contenida en la tubería, por lo que su ecuación de dimensiones es $L \cdot T^{-1}$. Su valor se determina a partir de la ecuación de continuidad y depende fundamentalmente de las características geométricas y mecánicas de la conducción, así como de la compresibilidad del agua. (Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real, s,f)

Una expresión práctica propuesta por Allievi, que permite una evaluación rápida del valor de la celeridad cuando el fluido circulante es agua, es la siguiente (Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real, s,f):

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + K \cdot \frac{D}{e}}}$$

Siendo:

K: Coeficiente función del módulo de elasticidad (ε) del material constitutivo de la tubería, que representa principalmente el efecto de la inercia del grupo motobomba, cuyo valor es:

$$K = \frac{10^{10}}{\varepsilon}$$

D: Diámetro interior de la tubería e: Espesor de la tubería

e: Espesor de la tubería

Tabla 1 Valores de k para hallar la celeridad

<i>Valores de K para hallar la celeridad</i>		
Material de la tubería	ε (kg/m²)	K
Palastros de hierro y acero	$2 \cdot 10^{10}$	0.5
Fundición	10^{10}	1
Hormigón (sin armar)	$2 \cdot 10^9$	5
Fibrocemento	$1.85 \cdot 10^9$	5.5 (5-6)
PVC	$3 \cdot 10^8$	33.3 (20-50)
PE baja densidad	$2 \cdot 10^7$	500
PE alta densidad	$9 \cdot 10^7$	111.11

Fuente: Cátedra de Ingeniería Rural. (Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real, s,f)

4.10 GOLPE DE ARIETE

Es un fenómeno también denominado transitorio, consiste en la alternancia de depresiones y sobrepresiones debido al movimiento oscilatorio del agua en el interior de la tubería, es decir, básicamente es una variación de presión, y se puede producir tanto en impulsiones como en abastecimientos por gravedad. (Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real, s,f)

El valor de la sobrepresión debe tenerse en cuenta a la hora de dimensionar las tuberías, mientras que, en general, el peligro de rotura debido a la depresión no es importante, más aún si los diámetros son pequeños. No obstante, si el valor de la depresión iguala a la tensión de vapor del líquido se producirá cavitación, y al llegar la fase de sobrepresión estas cavidades de vapor se destruirán bruscamente, pudiendo darse el caso, no muy frecuente, de que el valor de la sobrepresión producida rebase a la de cálculo, con el consiguiente riesgo de rotura. Los principales elementos protectores en este caso serían las ventosas y los calderines, como estudiaremos posteriormente. (Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real, s,f)

Figura 9 Tubería dañada por golpe de ariete



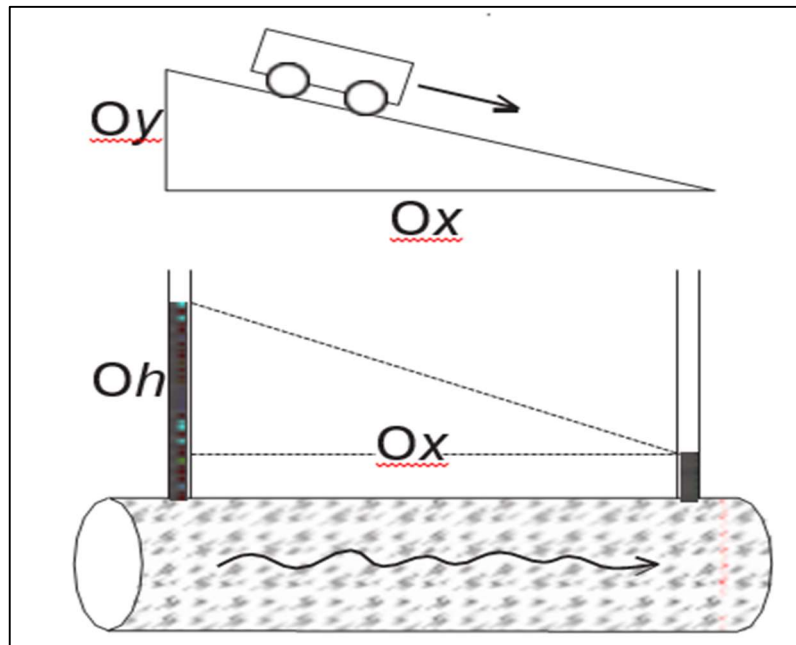
Fuente: (TLV Compañía especialista en vapor, 2017)

Gradiente hidráulico:

Gradiente es el incremento de una variable entre dos puntos del espacio, en relación con la distancia entre esos dos puntos. Si la variable considerada fuera la altitud de cada punto, el gradiente sería la pendiente entre los dos puntos considerados.

O bien, si entre dos puntos situados a 2 metros de distancia existe una diferencia de temperatura de 8°C , diremos que hay entre ellos un gradiente térmico de $4^{\circ}\text{C}/\text{metro}$. Cuanto mayor sea ese gradiente térmico, mayor será el flujo de calorías de un punto a otro. (Sanchez, s,f)

Figura 10 Grafica de gradiente



Fuente: (Sanchez, s,f)

Requisitos aparatos sanitarios

Las presiones mínimas que podrían tener las tuberías que abastecen los aparatos sanitarios son las siguientes según la NTC 1500

Tabla 2 Caudales y presiones mínimas de los aparatos sanitarios

Tabla 7. Caudales y presiones mínimas de operación para aparatos sanitarios		
Aparato sanitario	Presión residual mínima en kPa ¹	Caudal mínimo en L/s
Duchas	10	0,32
Sanitario tanque	7	0,19
Sanitario fluxómetro	15	0,95 a 2,5 ²
Orinal	5	0,19
Orinal fluxómetro	15	0,95
Lavamanos	5	0,19
Vertederos o lavapiatos	5	0,28
Lavadoras	5	0,32
Llaves de manguera	5	0,32
1) La presión residual mínima es la presión en la tubería a la entrada del aparato que se esté considerando.		
2) Se presenta un amplio rango de variación debido a los diferentes tipos y diseños de válvulas de fluxómetro.		

Fuente: Código Colombiano de Fontanería (NTC 1500, 2004)

5 ESTADO DEL ARTE

5.1 FLUJO EN TÉRMINOS DE PRESIÓN

Se evidenciaron estudios más recientes en China donde la utilización del bambú como tubería, específicamente para oleoductos y gasoductos. Así fue como el consejo Zhejiang Xinzhou Bamboo-based Composites Technology Co. aportó la idea para el aprovechamiento de este material el cual es abundante en este país oriental. Así pues se evidencia la idea según el artículo web mostrado a continuación.

5.2 BAMBÚ, IDEAL PARA HACER TUBERÍAS

“El padre de la idea fue Ye Ling, quien inició la **tecnología de tuberías de bambú compuesto en 2006**. El año siguiente, había establecido un equipo de investigación y desarrollo para probar la factibilidad del concepto. -La investigación finalmente culminó con la aplicación industrial en septiembre de 2016-, dice Ye. -Ahora tenemos tres centros de producción en funcionamiento-.

Hoy, Ye es presidente del consejo de Zhejiang Xinzhou Bamboo-based Composites Technology Co., Ltd. (Xinzhou Bamboo) y director del Centro de Investigación de Ingeniería de Compuestos de Bobinado de Bambú (ERCBWC), parte de la Administración Forestal Estatal. Sus iniciativas coinciden con una creciente demanda de oleoductos: se estima que para 2020, los oleoductos y gasoductos de China alcancen los 150.000 km; en 2025 habrá unos 240.000 km.

Pero, ¿cómo se puede transformar el bambú en tuberías? ***El bambú tiene buena elasticidad y flexibilidad así que puede ser procesado fácilmente mediante el tejido y el bobinado. Las tuberías compuestas de bambú con adhesivo de resina*** son ignífugas, impermeables y anti-sísmicas. Proporcionan un buen aislamiento térmico y eléctrico, son resistentes a la corrosión y pueden soportar altas presiones.” (elempleado.mx, 2017)

Figura 11 Construcción de tubos a presión en bambú



Fuente: Yinghan taizhu company (Huazheng, 2017)⁹

⁹ Extraído de sitio web chino: , 图文：一根竹子带来“管道革命”. Xinhuanet.

Tabla 3 Diámetros según tipo de Bambú

<i>Genero</i>	<i>Altura (m)</i>	<i>Diámetro (cm)</i>	<i>Origen</i>
<i>Bambusa</i>	6 a 30	3 a 18	China, India, Birmania y Taiwán
<i>Chusquea</i>	4 a 6	2 a 4	Chile y Argentina
<i>Dendrocalamus</i>	20 a 35	20 a 30	India, Birmania, Sri Lanka y Taiwán
<i>Gigantochla</i>	10 a 16	8 a 15	Malasia, Indonesia y Filipinas
<i>Guadua</i>	10 a 30	5 a 15	Colombia, Ecuador, México, Bolivia y Panamá
<i>Phyllostachys</i>	5 a 22	2 a 17	China y Japón

Fuente: Bambú como material estructural (Martinez, 2015)

5.3 MÉTODO PARA MANUFACTURAR TUBERIA ESTRUCTURAL CON GUADUA ANGUSTIFOLIA

Es un método usado para desarrollar una tubería estructural de un material compuesto por *Guadua Angustifolia*, la cual constituye a un tipo de Bambú es nativa de Colombia.

5.3.1 Guadua Angustifolia en Latinoamérica y Colombia

La guadua, *Bambusa guadua*, definida y descrita en el libro de “Técnicas de producción de leña en fincas pequeñas” como una de las especies de bambú más importantes en el desarrollo cultural, económico y de conservación de los recursos hídricos en algunos países de América Latina, como México, Costa Rica, Panamá, Colombia, Ecuador y Brasil. Sus cualidades físicas, costos bajos y Disponibilidad, hacen de esta especie el material ideal para familias de escasos Recursos económicos, que la pueden emplear no solo para construcción de viviendas, sino para múltiples usos, inclusive leña. A pesar de su valor proteccionista, utilidad y belleza, la especie no ha sido fomentada adecuadamente y existe gran presión sobre los escasos guaduales naturales existentes, hasta el punto de considerarse la especie en vía de extinción. (CIDIA, 1985)

Figura 12 Guadua angustifolia



Fuente: (El semillero, s,f)

“En Colombia, la guadua se desarrolla en condiciones óptimas desde los 900 hasta los 1600 m.s.n.m, pero se encuentra desde el nivel del mar hasta los 2000 m.s.n.m con desarrollo menos satisfactorio. La especie requiere de suelos sueltos, fértiles, con mediana profundidad, húmedos pero no inundables. Los suelos derivados de cenizas volcánicas y aluviales son los preferidos por la especie, especialmente suelos areno-limosos y arcillo-limosos de color amarillo o amarillo - rojizos. El promedio mínimo de precipitación requerido es de 1300 mm, bien distribuidos y el promedio máximo es de 5000 mm. El rango óptimo de temperatura oscila entre 20 y 26°C y una humedad relativa de 80%”. (CIDIA, 1985)

5.3.2 Método de Manufactura y proceso de moldeo de tubería

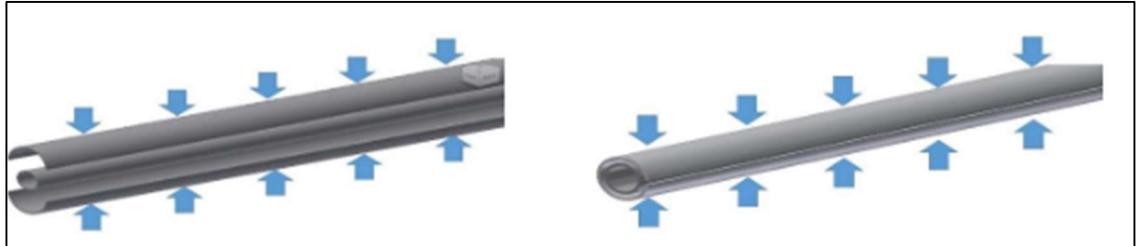
Un estudio realizado por la Universidad de los Andes describe la fabricación de tuberías estructurales de Guadua Angustifolia a partir de sus fibras y descomponiendo la lignina de tal manera que se reestructura por completo el material y permite que sus medidas sean estandarizadas. A continuación se da conocer el método:

El proceso de moldeo de la tubería es el siguiente:

- El primer paso es el del enrollado manual el cual partiendo del material compuesto desarrollado anteriormente se calienta para transformarlo a estado maleable de modo que se enrolle manualmente sobre un tubo denominado alma el cual está encargado de generar el diámetro interno de la tubería de compuesto. (Otálora, 2016)
- Se procede a generar el pre moldeo que se encarga de convertir la preforma tosca en una tubería conformada, un molde el cual consiste en un cilindro con

una abertura longitudinal que permite la salida de rebaba y la compresión del molde. La Figura 13 muestra un esquema de los moldes que fueron usados. El medio de compresión de los moldes es a través de abrazaderas metálicas.

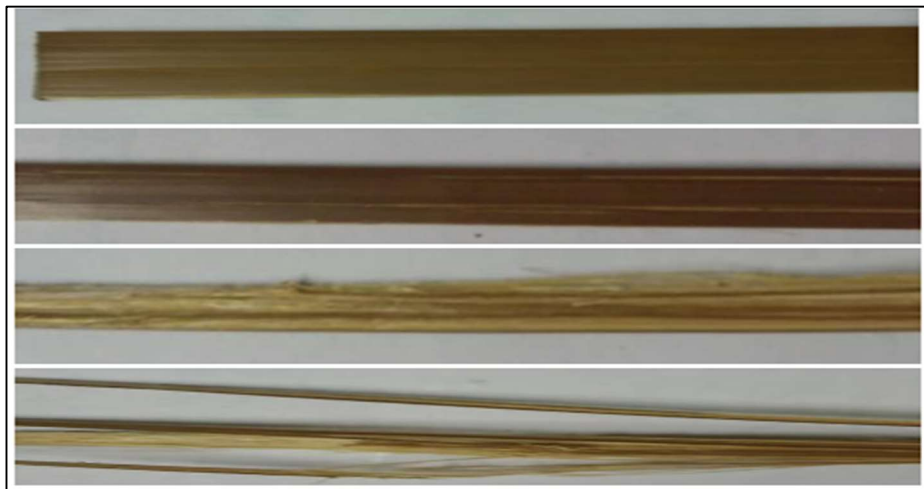
Figura 13 Molde de dos mitades y de abertura longitudinal



Fuente: Desarrollo de Material compuesto a base de Guadua Angustifolia para aplicaciones Estructurales. Universidad de Los Andes (Otálora, 2016)

- El método por el cual se conforman los tubos es el siguiente: Se coloca el material compuesto en el horno a 190°C para volverlo maleable; con el polímero fundido se enrolla manualmente en el alma recubierta de papel parafinado para desmoldar. (Otálora, 2016)

Figura 14 Extracción de fibras luego de descomponer la lignina



Fuente: Desarrollo de Material compuesto a base de Guadua Angustifolia para aplicaciones Estructurales. Universidad de Los Andes (Otálora, 2016)

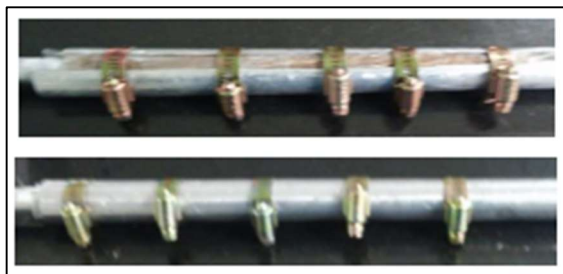
Figura 15 Cinta plana enrollada manualmente



Fuente: Desarrollo de Material compuesto a base de Guadua Angustifolia para aplicaciones Estructurales. Universidad de Los Andes (Otálora, 2016)

- Se debe acomodar a uno de los moldes e ingresarlo al horno a la misma temperatura, con el material fundido se deben apretar las abrazaderas 1 vuelta, regresar el molde al horno y repetir el proceso de compresión por las abrazaderas hasta llegar al tope de las abrazaderas. Este proceso se repite con el molde cilíndrico de abertura longitudinal (véase Figura 13). De manera que el moldeo haga las veces de venteo y reduzca la cantidad de defectos dentro del material compuesto y mejore el acabado superficial (Otálora, 2016)

Figura 16 Pre moldeo de las fibras resultantes



Fuente: Desarrollo de Material compuesto a base de Guadua Angustifolia para aplicaciones Estructurales. Universidad de Los Andes (Otálora, 2016)

Figura 17 Producto final de tubería con diámetro comercial



Fuente: Desarrollo de Material compuesto a base de Guadua Angustifolia para aplicaciones Estructurales. Universidad de Los Andes (Otálora, 2016)

6 OBJETIVOS

6.1 General

Presentar las características hidráulicas de la tubería en bambú como sistema de transporte de agua a presión

6.2 Específicos

- 6.2.1** Caracterizar las propiedades hidráulicas del bambú en un banco hidráulico y mediante ensayos de presión.
- 6.2.2** Comparar los resultados obtenidos en el banco hidráulico con las propiedades hidráulicas de otros materiales de uso común en el transporte de agua a presión.
- 6.2.3** Proponer alternativas de uso para el bambú como material alternativo en la solución del transporte de agua a presión.

7 METODOLOGÍA

Fase 1: Planteamiento del problema

Definición del alcance del proyecto.

Se dan los argumentos acerca de los motivos de realización el proyecto.

Fase 2: Recolección de información

- Estudios previos: Para la investigación se requirieron varias fuentes de información, como lo son artículos web, textos científicos, investigaciones previas, referente al uso que se le ha dado al bambú como material en la construcción, fuera de la decoración.
- Características del bambú como material de construcción, comparación de este con otros materiales y su disponibilidad en el mercado
- Consulta a personas con experiencia en el tema: ingenieros, laboratoristas, técnicos, etc.
- Consulta de las referencias para las bases del diseño y construcción del banco: RAS

Fase 3: Diseño del banco hidráulico

- Diseño hidráulico correspondiente a las variables a hallar, entre ellas: el Caudal máximo, coeficientes de pérdidas, presiones máximas a soportar, potencia de la bomba, entre otras variables a establecer.

Debido a que será un modelo para hallar perdidas en cierto tramo no muy específico se realizará un diseño en base al caudal que genera la bomba y como optimizarlo en el sistema

- Diseño estructural: longitud de la tubería, dimensiones del tanque, longitud y material de la estructura de soporte.
- Diseño eléctrico:

Potencia y ubicación de la bomba

Número, tipo y ubicación de válvulas Implementación del banco hidráulico

Ubicación de manómetros

Fase 4: Construcción del modelo

- Verificación el lugar adecuado de instalación del sistema en el laboratorio
- Definición de los materiales requeridos, así como los equipos de corte y fundición.

- Alistado de tubería: aplicación de resinas para su mejoramiento, cortes o moldeo para acoplar al sistema.
- Construcción estructura: definición de materiales para tanque y los respectivos cortes. Precisar las piezas la estructura de soporte incluyendo tornillería y accesorios complementarios
- Ensamble del sistema bombas, válvulas, tuberías.

Fase 5: Ensayos de laboratorio

- Ensayo de tracción para la tubería
- Prueba de hermeticidad: verificación de fugas en la misma tubería y en uniones del sistema
- Perdidas hidráulicas del sistema
- Prueba de presión de aire : llenado de tubería y expulsión de aire¹⁰

(IDRD), (NTC 382, 2011)

Fase 6: Recolección de datos y análisis de datos

- Resistencia a la tracción, a partir de un dinamómetro
- Caudal máximo , caudal apropiado para el funcionamiento, a través de la comprobación de diseño
- Potencia de la bomba o altura que necesita vencer ésta a partir de un caudal demandado o supuesto.
- Valores implícitos en los anteriores datos: El Factor de fricción de la tubería, perdidas del sistema¹¹ (JUAN, 2001).

¹⁰ Los ensayos de laboratorio fueron obtenidos de documento online del IDRD sobre Redes Hidráulicas. <https://www.idrd.gov.co/especificaciones/CAP8REDESHIDRAULICAS.pdf> . El cual se basa en la NTC 382 del 2011

¹¹ Basado en el libro Hidráulica de tuberías de Juan Saldarriaga.

8 SEGUIMIENTO A LA METODOLOGIA

8.1 RECOLECCION DE INFORMACION A COMPARAR

8.1.1 Características de tubería de PVC

- Vida Útil:

La vida útil estimada es de 50 años.

Esta información no es garantía de producto dado que PAVCO no ejerce control sobre todos los aspectos que se presentan en la instalación y que afectan directamente el desempeño y la vida útil del producto. ¹² (Manual Tecnico de Tubosistemas de presion PVC, 2014)

Los Tubo sistemas PVC Presión PAVCO están diseñados para transportar agua para consumo humano a presión.

Este material garantiza la conservación de la calidad del agua ya que ha sido verificado de acuerdo a la ANSI/NSF 61:02. (Manual Tecnico de Tubosistemas de presion PVC, 2014)

Figura 18 Tuberías PVC para diferentes usos



Fuente: PAVCO (Manual Tecnico de Tubosistemas de presion PVC, 2014)

- Ventajas

¹² Catalogo PAVCO : Manual Tecnico de Tubosistemas de presion PVC, 2014

- ✓ Menores pérdidas de presión
- ✓ La superficie interior de los Tubosistemas PVC Presión de PAVCO es lisa, reduciendo considerablemente las pérdidas de presión por fricción. (Véase).
- ✓ Facilidad de Instalación.
- ✓ El sistema de unión de los Tubosistemas PVC Presión de PAVCO consiste en conexiones soldadas. Este sistema de unión por medio de soldadura líquida, forma un conjunto homogéneo que desarrolla máxima resistencia en un mínimo de tiempo. Como consecuencia la instalación es muy sencilla, rápida y segura. El equipo necesario es mínimo, no se necesitan tarrajas y basta una segueta o un serrucho para hacer los cortes.

- Características hidráulicas de las pérdidas por presión

La tabla a continuación será la base para comparar los resultados de pérdidas en la tubería de bambú.

Tabla 4 Pérdidas de presión en m/m tubería PVC

Pérdidas por Fricción m/m										Pérdidas por Fricción m/m									
Q	1/2" RDE		3/4" RDE		1" RDE		1.1/4" RDE	1.1/2" RDE	2" RDE	2.1/2" RDE		3" RDE		4" RDE					
l/s	9	13.5	11	21	13.5	21	21	21	21	26	21	26	21	26	32.5	41	21	26	32.5
0,1	0,0188	0,0184	0,0050	0,0034	0,0014	0,0010													
0,2	0,0679	0,0663	0,0180	0,0122	0,0049	0,0037													
0,3	0,1437	0,1404	0,0380	0,0257	0,0104	0,0078	0,0025	0,0022											
0,4	0,2448	0,2391	0,0648	0,0438	0,0177	0,0133	0,0043	0,0033											
0,5	0,3698	0,3613	0,0979	0,0662	0,0267	0,0201	0,0064	0,0047											
0,6	0,5182	0,5062	0,1371	0,0928	0,0374	0,0281	0,0090	0,0062	0,0021	0,0019									
0,7	0,6892	0,6733	0,1824	0,1235	0,0497	0,0374	0,0120	0,0079	0,0027	0,0024									
0,8	0,8823	0,8619	0,2335	0,1581	0,0637	0,0479	0,0154	0,0099	0,0033	0,0030									
0,9	1,0972	1,0718	0,2904	0,1965	0,0792	0,0595	0,0191	0,0120	0,0041	0,0037									
1,0	1,3333	1,3024	0,3529	0,2388	0,0962	0,0723	0,0232	0,0143	0,0048	0,0044	0,0019	0,0017							
1,1	1,5904	1,5536	0,4209	0,2849	0,1148	0,0863	0,0277	0,0168	0,0057	0,0051	0,0022	0,0020							
1,2	1,8681	1,8249	0,4944	0,3346	0,1348	0,1013	0,0325	0,0195	0,0066	0,0060	0,0026	0,0023							
1,3			0,5733	0,3880	0,1563	0,1175	0,0377	0,0223	0,0075	0,0068	0,0030	0,0027							
1,4			0,6576	0,4451	0,1793	0,1348	0,0432	0,0254	0,0086	0,0078	0,0034	0,0031							
1,5			0,7471	0,5057	0,2037	0,1531	0,0491	0,0286	0,0097	0,0088	0,0038	0,0034	0,0015	0,0013	0,0012	0,0003			
1,6			0,8418	0,5698	0,2295	0,1725	0,0554	0,0320	0,0108	0,0098	0,0043	0,0039	0,0016	0,0015	0,0014	0,0004			
1,7			0,9417	0,6374	0,2568	0,1930	0,0619	0,0356	0,0120	0,0109	0,0047	0,0043	0,0018	0,0017	0,0015	0,0004			
1,8			1,0468	0,7085	0,2854	0,2145	0,0688	0,0393	0,0133	0,0120	0,0052	0,0047	0,0020	0,0018	0,0017	0,0005			
1,9			1,1569	0,7830	0,3155	0,2371	0,0761	0,0432	0,0146	0,0132	0,0058	0,0052	0,0022	0,0020	0,0018	0,0005			
2,0			1,2720	0,8610	0,3469	0,2607	0,0836	0,0515	0,0174	0,0158	0,0069	0,0062	0,0026	0,0024	0,0022	0,0006			
2,2					0,4137	0,3110	0,0998	0,0605	0,0205	0,0185	0,0081	0,0073	0,0031	0,0028	0,0026	0,0007			
2,4					0,4860	0,3653	0,1172	0,0702	0,0237	0,0215	0,0094	0,0085	0,0036	0,0033	0,0030	0,0008	0,0011	0,0010	0,0009
2,6					0,5636	0,4236	0,1359	0,0805	0,0272	0,0246	0,0107	0,0097	0,0041	0,0037	0,0034	0,0009	0,0012	0,0011	0,0010
2,8					0,6464	0,4858	0,1559	0,0915	0,0309	0,0280	0,0122	0,0110	0,0047	0,0042	0,0039	0,0011	0,0014	0,0012	0,0012
3,0					0,7344	0,5519	0,1771	0,1217	0,0411	0,0372	0,0162	0,0147	0,0062	0,0057	0,0052	0,0014	0,0018	0,0017	0,0015
3,5					0,9767	0,7341	0,2355	0,1558	0,0526	0,0477	0,0208	0,0188	0,0080	0,0072	0,0067	0,0018	0,0023	0,0021	0,0020
4,0							0,3015	0,1937	0,0655	0,0593	0,0258	0,0233	0,0099	0,0090	0,0083	0,0023	0,0029	0,0026	0,0024

Fuente: PAVCO (Manual Tecnico de Tubosistemas de presion PVC, 2014)

8.2 DISEÑO DEL BANCO HIDRAULICO.

El diseño no requerirá de grandes cálculos puesto que la idea principal requiere medir presiones en cierto tramo de tubería. Sin embargo para el modelo se diseña en base criterios establecidos para la lograr principalmente la inclusión del a tubería de bambú al sistema del banco hidráulico y a las pruebas de presión de aire:

- En base al uso de una bomba centrífuga de $\frac{1}{2}$ HP con Voltaje de 110V, puesto que ocasionalmente genero economía al momento de la compra y facilidad de obtenerla. La característica con la cual se requería centrífuga era para generar una cantidad de caudal contrario a lo que ofrecería una bomba de tipo periférica.

Figura 19 Bomba pearl Centrífuga 1/2 Hp



Fuente: (Easy, 2019)

- Puesto que uno de los objetivos es la adaptación del bambú al sistema, no se realizó un diseño con accesorios específicos. Por tanto puede considerarse que el método de construcción fue netamente por ensayo y error
- Otro parámetro de diseño fue la ubicación de las válvulas , puesto que era necesario conocer el objetivo del sistema por lo tanto tenían varias regulación del caudal, arranque de la bomba, control del flujo

- La ubicación y colocación de los manómetros fue otras de los criterios en el que se tenía que evaluar pues al adaptarlos a la tubería no debían tener alguna fuga, lo cuales al tener un diámetro relativamente pequeño se encuentran en lugares donde se adquirieran accesorios para mangueras
- El menor número de tramos de tubería para evitar pérdidas de presión por lo tanto en la tubería de mayor diámetro (3/4") se evitó espaciamiento con tubería PVC de este mismo diámetro
- Cálculo del volumen del tanque , y debido a la poca información del catálogo se realizó una prueba casera para el cálculo del caudal que transmitía teniendo en cuenta que a la entrada y salida la salida fue de 3/4"

Figura 20 Modelación Para cálculo de caudal de la bomba



Fuente: El autor

- Obteniéndose lo siguiente:

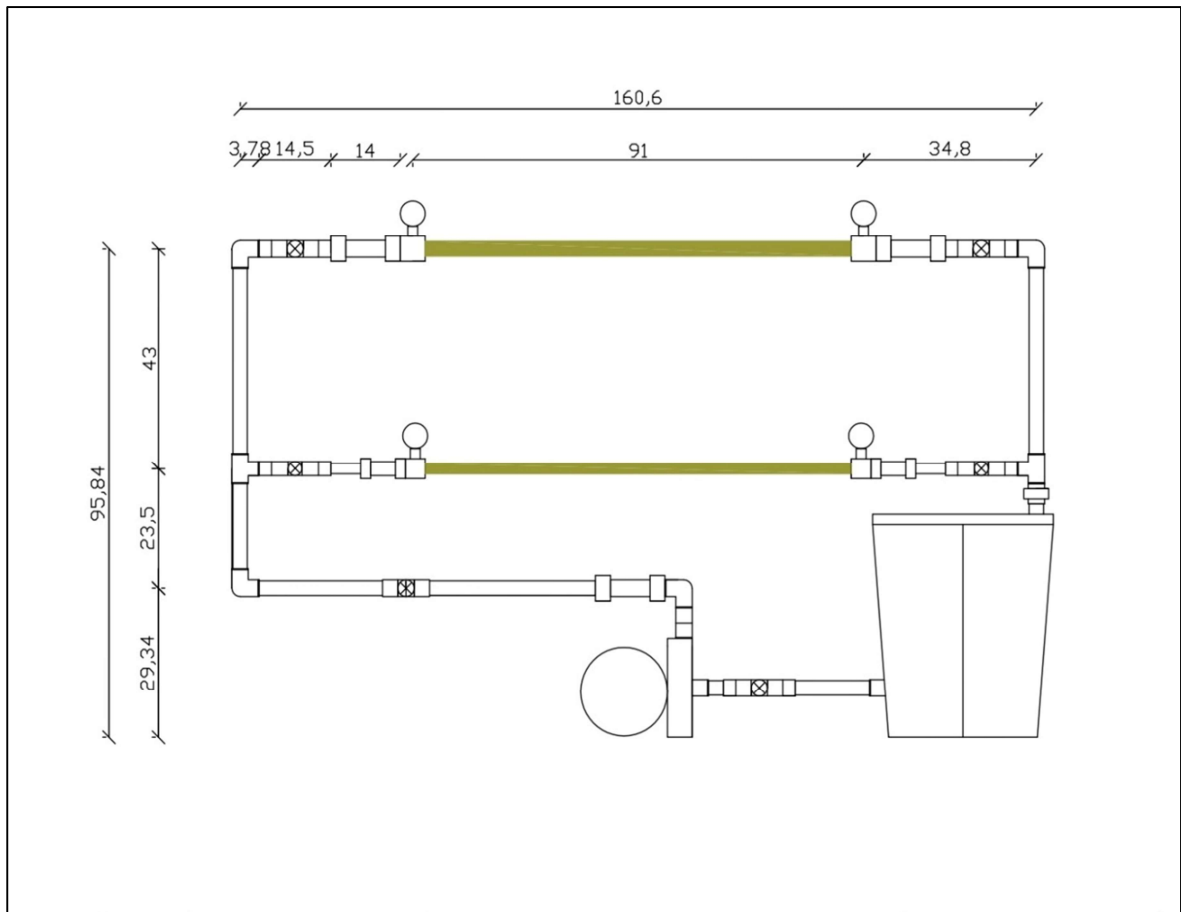
Tiempo de llenado: 19 segundos

Llenado de balde de 5 Galones = 18,9271 lts

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{18,9271 \text{ lts}}{19 \text{ segundos}} = 0,99 \frac{\text{lts}}{\text{s}} \approx 1 \frac{\text{lts}}{\text{s}}$$

- Al cumplir con el tiempo de llenado se eligió un balde con capacidad aproximada de 5,5 galones, puesto que no afectaría que se quedara vacío el sistema debido a que la entrada y llegada llegan a un mismo medio de almacenamiento. Lo anterior en el caso de medición de presiones.

Figura 21 Modelo del Banco hidráulico de tubería de Bambú



Fuente: El autor

8.3 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

8.3.1 Materiales

Para el modelo del banco final, se utilizaron:

- Bambú de aproximadamente $\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ "
- 2 uniones Dresser (acople rápido) de $\frac{1}{2}$ "
- 2 Uniones Dresser (acople rápido) de $\frac{3}{4}$ "
- 2 collares de derivación de $\frac{1}{2}$ "- $\frac{1}{2}$ "

- 2 collares de derivación de $\frac{3}{4}$ "- $\frac{1}{2}$ "
- 4 reducciones roscadas de $\frac{1}{2}$ " - $\frac{1}{4}$ "
- 8 codos de $\frac{3}{4}$ ",
- 2 té reducidas de $\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ "
- 4 válvulas de bola $\frac{3}{4}$ "
- 2 Válvulas de bola de $\frac{1}{2}$ "
- Tubería PVC de $\frac{3}{4}$ 3,5m
- Tubería PVC de $\frac{1}{2}$ " 1m
- Tanque de almacenamiento de 5,5 galones
- 6 uniones machos $\frac{3}{4}$ "
- 4 uniones machos $\frac{1}{2}$ "
- Uniones para tanques de $\frac{3}{4}$ "
- nipes
- Unión universal de $\frac{3}{4}$ "
- 1 bomba centrífuga de $\frac{1}{2}$ hp
- 2 reducciones de 1" - $\frac{3}{4}$ "

Para ensamble:

- Limpiador PVC
- Soldadura PVC
- Cinta teflón
- Bicarbonato de sodio
- Pegante instantáneo

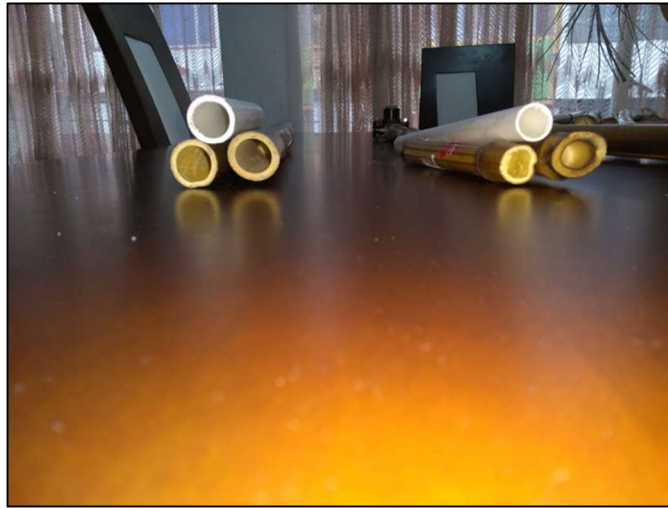
Para el soporte del banco:

- Lamina de madera 1,65m X 1,05m
- 2 Tabla de madera espesor 1,5cm de 1,06mx 0,25m
- 2 Secciones de madera de espesor 1,5cm de 40 cm x 25cm
- Puntillas

8.4 PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN

Se eligen los bambús sin cortes lo longitudinal y con diámetros lo más constantes posibles en relación a su longitud.

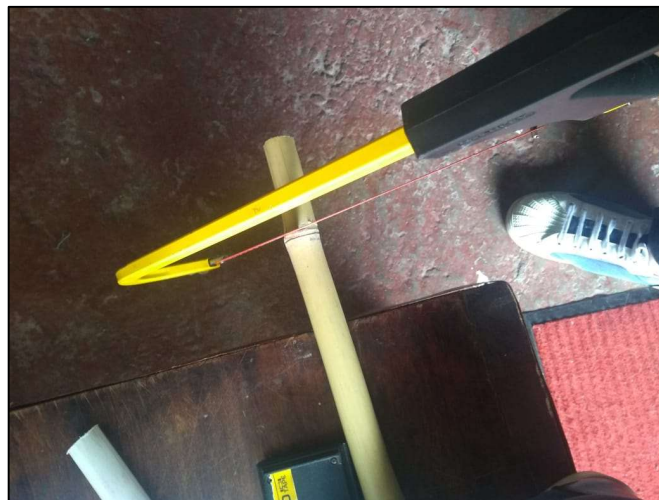
Figura 22 Representación de las tuberías de bambú a PVC



Fuente: el autor

8.1.1. Se cortan los bambús a la medida $101,4\text{ m} (91 + (2,7 + 2,5) \times 2)$

Figura 23 Corte de bambú con segueta



Fuente: El autor

8.1.2. Se abren los nodos con ayuda de una broca larga y taladro. Los nodos tienen una menor resistencia que la parte exterior del bambú y para el bambú estudiado tiene espesor entre 0,8 y 1,3 cm.

Figura 24 Visualización de nudos de Bambú



Fuente: El autor

8.1.3. Se cubren los agujeros que se presentan en la tubería de manera natural. Para ello se usó pegante de secado rápido para madera y bicarbonato de sodio. El bicarbonato endurece mientras el pegante instantánea adhiere.

Figura 25 Cubrimiento de agujeros con bicarbonato y pegante instantáneo



Fuente: El autor

8.1.4. Para adaptar el bambú al sistema se utilizaron unión de rápido acople (dresser) por lo tanto para el caso de la tubería cercana a la de 3/4 fue necesario limar uno de sus extremos.

Figura 26 Collar de derivación y reducción ranurada



Fuente: El autor

- 8.1.5.** Se realizan agujeros donde se ubicarán los manómetros a 91cm de separación. Allí se podrá un collarín de derivación donde irán los manómetros

Figura 27 Colocación collarín de derivación y manómetros



Fuente: El autor

- 8.1.6.** Se realizan las uniones de PVC. A válvulas y demás accesorios

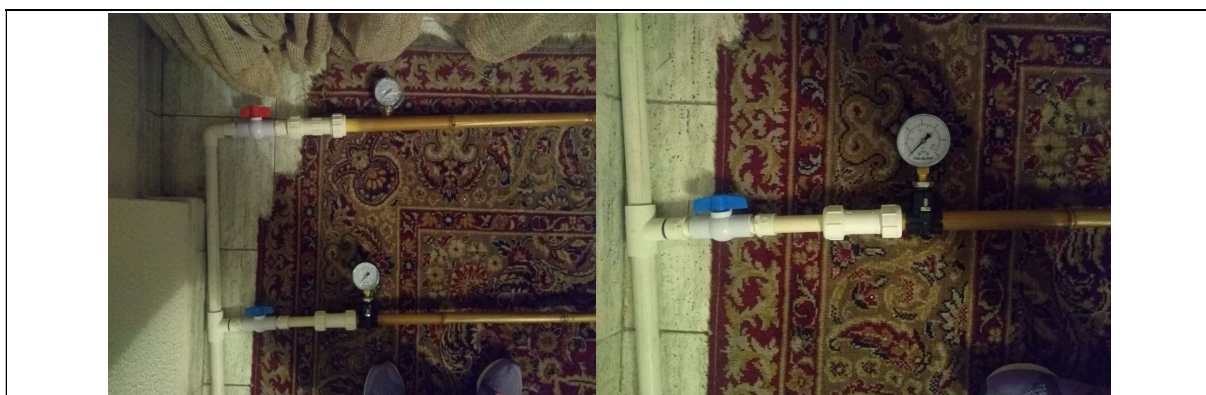
Figura 28 Uniones pvc con soldadura



Fuente: el autor

8.1.7. Se completa el montaje completo con la segunda tubería adaptándole las T reducidas de 3/4" a 1/2"

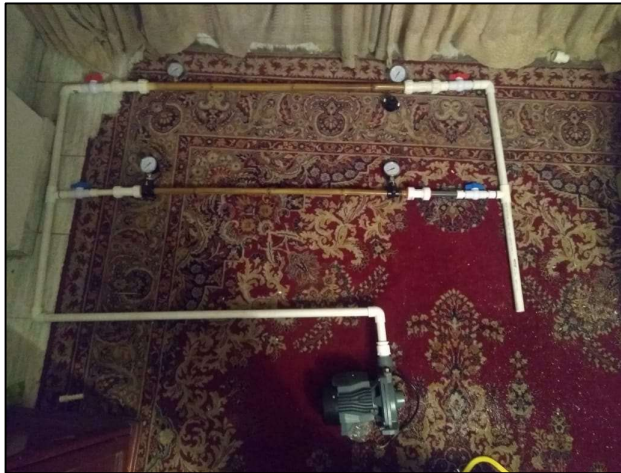
Figura 29 Uniones con Tés y Codos



Fuente: el autor

8.1.8. Se realiza replanteo para el montaje de la bomba

Figura 30 Replanteo

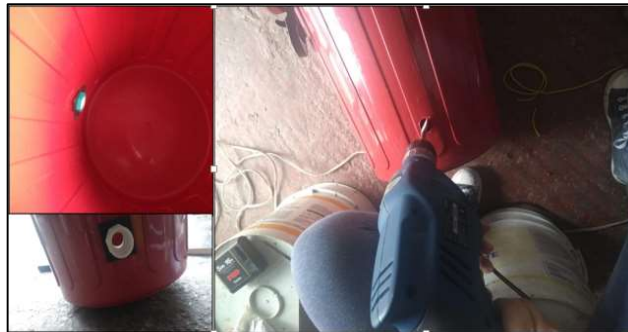


Fuente: El autor

8.1.9. Se realiza la estructura de soporte en lámina de madera reutilizable

8.1.10. Se instala el tanque que abastecerá el sistema. Con el cual se realiza una abertura la entrada de la bomba que será de 3/4" y con uniones macho a la salida del tanque y hembra a la entrada. Entre las uniones se ubica un Niple para evitar fugas.

Figura 31 Unión a tanque con niple



Fuente: El autor

8.1.11. Instalación del tanque a la bomba. Se instala válvula a la entrada para que quede vacía.

Figura 32 Instalación del sistema a la bomba



Fuente: El autor

8.1.12. Para la medición de volumen para el caudal se realizó una sección temporal a la salida del sistema con una unión universal y una sección de tuberías que llegan a un balde con un volumen un poco más de 5 galones. El volumen exacto de medición fue 20,55 lts

Figura 33 Balde para Medición de Caudal



Fuente: El autor

Figura 34 Montaje Principal

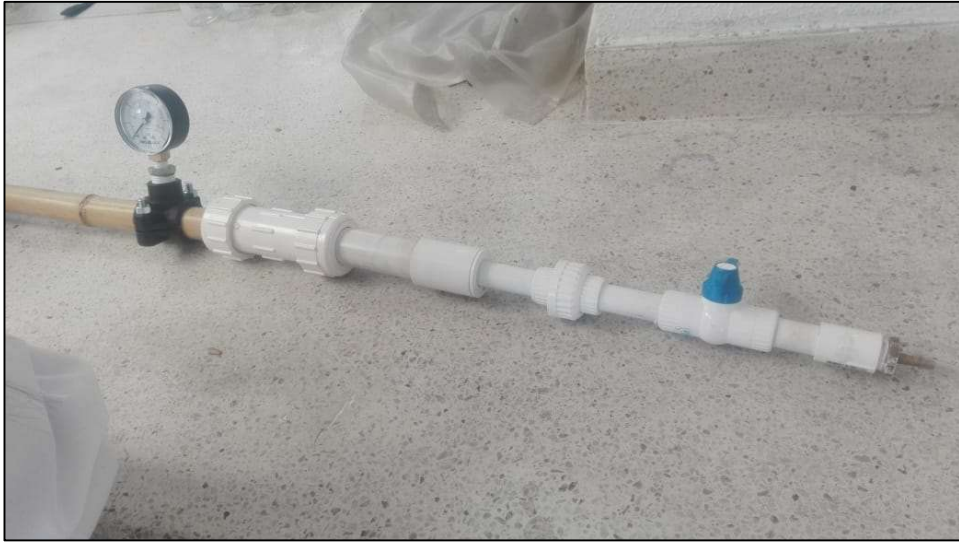


Fuente: El autor

9 ENSAYOS DE LABORATORIO

9.1 PRESION DE AIRE

Figura 35 Montaje prueba presión de aire



Fuente: El autor

Descripción: Montaje para prueba de presión de aire. Bambú con extremo totalmente cubierto (con el nodo sin perforar), 1 manómetro a la salida, unión dresser, tubería del diámetro de la sección que se va a probar, reducción a 1/2", tramo de 1/2", unión universal. Hasta este tramo se realizará el sistema según el diámetro evaluado. Seguido de ello se realiza tramo de 1/2", válvula de bola de 1/2", tubería de 1/2", unión hembra roscada y espárrago de 1/2" a 1/4".

Figura 36 Montaje de para las 2 tuberías -Presión de aire



Fuente: El autor

Descripción: Se utilizó tubería de 1/2 " para ahorrar costos en demás accesorios

Figura 37 Falla de uno de los bambús secos



Fuente: El autor

9.2 MODULO DE ELASTICIDAD

Figura 38 Prueba de carga y deflexión



Fuente: El autor

Descripción: Se utiliza como apoyos del sistema 2 mesas y la base de colocación de cargas fue necesario adaptar un componente metálico en donde se pudiera colocar el bambú.

Figura 1 Medición de deflexión según Carga.



Fuente: El autor

Descripción: Se calibra el deformimetro el cual se encuentra en unidades de 0,001 in y en base a eso se aplican las cargas.

9.3 PERDIDAS DE PRESION EN EL BANCO HIDRAULICO

Figura 2 cambios de presión en pruebas de pérdidas en el bambú



Fuente: El autor

Descripción: Se evidencian los cambios de presión del sistema, traducidos finalmente en pérdidas. En él se usaron varios manómetros debido a que se desconocía a la presión máxima en que se podía llegar.

10 RESULTADOS DE LABORATORIO

Tabla 5 Medidas del bambú a utilizar

DIAMETROS	UNIDAD	TUBERIA 1/2"	TUBERIA 3/4"
Externo	m	0,017	0,02475
	m	0,0155	0,02175
Externo (prom)	m	0,01625	0,02325
interno	m	0,022	0,03
	m	0,0155	0,027
interno (prom)	m	0,01875	0,0285
ESPESOR	m	0,005	0,005
AREA TRANSVERSAL	m ²		0,0004246

Fuente: El autor.

- PRESION DE AIRE

Tabla 6 Presiones máximas

TUBERIA APROX	CARACTERISTICAS DEL PROCESO	PRESION MAXIMA (PSI)	ESTA APOYADO ??	ALCANCE	DEFECTOS DEL BAMBI
1 "	SIN HUMEDECER	16	SIN APOYO	DESPRENDIMIENTO DEL SISTEMA	MAS LIVIANO, MAS POROSO, NUDOS RELATIVAMENTE FACILES DE PERFORAR
1"	SIN HUMEDECER	25	SIN APOYO	POR ESCAPE NO PERMITE SUBIR LA PRESION DEBIDO A LA FORMA DEL BAMBU	
1"	SIN HUMEDECER	27	SIN APOYO	DESPRENDIMIENTO DE ACCESORIO DE ACOPLE RAPIDO	
3/4"	HUMEDO	30	SIN APOYO	DESPRENDIMIENTO DE ACCESORIO DE ACOPLE RAPIDO	
3/4"	HUMEDO	64	CON APOYO	APOYADO A LA PARED, PARA NO DESPRENDER ACCESORIO	FALLA POR SALIDA DE AIRE EN NUDO
1/2"	HUMEDO	59	CON APOYO	FALLA POR LOS POROS DEL NUDO, BURBUJAS A LA SALIDA	
1/2"	HUMEDO	26	SIN APOYO	DESPRENDIMIENTO DE ACCESORIO DE ACOPLE RAPIDO	
1/2	HUMEDO	26	SIN APOYO	DESPRENDIMIENTO DE ACCESORIO DE ACOPLE RAPIDO	

Fuente: El autor. Véase ANEXO 1

- **MODULO DE ELASTICIDAD**

Tabla 7 Datos para módulo de elasticidad

DATOS ENSAYO MODULO DE ELASTICIDAD		
CARGAS (Kg)	CARGA ACUMULADA (kg)	CAMBIO DEFORMACION (0,001IN)
9,48	9,48	240
10	19,48	435
6	25,48	560
4	29,48	617,5
4	33,48	740
4,02	37,5	865
4,02	41,52	1000

Fuente: El autor. Véase ANEXO 1

- **DATOS PRESIONES Y CAUDALES**

Tabla 8 Datos de presión tubería de ½"

TUBERIA 1/2 in						
	TIEMPOS		PRESION 1		PRESION 2	
DATO	seg	prom (seg)	psi	prom(psi)	psi	prom(psi)
1	31,22	31,18	26,5	26,8	17	16,96
	31,24		27		17	
	31,22		26,8		17	
	31,03		27		16,8	
	31,19		26,7		17	
2	31,26	31,354	26,5	26,46	16,5	16,5
	31,44		26,5		16,5	
	31,34		26,4		16,5	
	31,33		26,4		16,5	
	31,4		26,5		16,5	
3	31,94	31,882	26	26	16,5	16,1
	31,85		26		16	
	31,8		26		16	
	31,9		26		16	
	31,92		26		16	
4	33,69	33,648	23,9	23,88	14,9	14,9
	33,62		23,7		14,9	
	33,65		24		14,9	
	33,62		23,8		14,9	
	33,66		24		14,9	
5	36	36,194	20	19,98	13	12,92
	36,13		20		12,9	
	36,5		19,9		12,9	
	36,2		20		12,9	
	36,14		20		12,9	
6	38,02	38,026	19	18,94	11	11,02
	38,03		18,9		11	
	38,04		19		11,1	
	38,12		19		11,1	

Fuente: El autor

Tabla 9 Datos de presión tubería de ¾ "

TUBERIA 3/4 in						
	TIEMPOS		PRESION 1		PRESION 2	
	seg	prom (seg)	psi	prom(psi)	psi	prom(psi)
1	13,85	14,038	16	16	7,5	7,3
	13,87		16		7	
	14,28		16		7,5	
	14,22		16		7	
	13,97		16		7,5	
2	14,7	14,668	15	15	7,4	7,4
	14,67		15		7,4	
	14,84		15		7,4	
	14,33		15		7,4	
	14,8		15		7,4	
3	15,79	15,816	14	14,56	6,5	6,52
	15,98		14,5		6,6	
	15,47		15		6,5	
	16,02		14,5		6,5	
	15,82		14,8		6,5	
4	16,22	16,32	14,2	14,18	6	6,04
	16,42		14,5		6,2	
	16,3		14,2		6	
	16,34		14		6	
	16,32		14		6	
5	16,66	16,994	13	12,3	5,9	5,74
	16,07		12		5,8	
	17,19		12,5		5,5	
	17,55		12		5,5	
	17,5		12		6	
6	20,6	21,24	8	8,02	3,5	3,4
	21,5		8		3	
	20,9		8		3,6	
	21,8		8,1		3,5	
	21,4		8		3,4	
7	23,19	22,946	6	6,3	3	3,1
	22,97		6,5		3,5	
	22,69		6,5		3	
	22,88		6,5		3	

Fuente: El autor

- **RESULTADOS DE PERDIDAS DE PRESION**

Tabla 10 Cálculo de presiones y su perdida tubería ½’’

CÁLCULO DE PRESIONES Y PERDIDA DE PRESION					
PRESION 1	PRESION 2	Δ PRESION	PRESION 1	PRESION 2	Δ PRESION
psi	psi	psi	KPa	KPa	KPa
26,8	16,96	9,84	184,7797556	116,9352483	67,84450728
26,46	16,5	9,96	182,4355348	113,7636555	68,67187932
26	16,1	9,9	179,263942	111,0057487	68,2581933
23,88	14,9	8,98	164,647036	102,7320283	61,91500766
19,98	12,92	7,06	137,7574447	89,08038964	48,67705502
18,94	11,02	7,92	130,586887	75,98033234	54,60655464
9,9	5,84	4,06	68,2581933	40,26543928	27,99275402
8,5	5	3,5	58,6055195	34,473835	24,1316845

Fuente: El autor.(Véase , pestaña 3)

Tabla 11 Cálculo de presiones y su perdida tubería ¾’’

CALCULO DE PRESIONES Y PERDIDA DE PRESION					
PRESION 1	PRESION 2	Δ PRESION	PRESION 1	PRESION 2	Δ PRESION
psi	psi	psi	KPa	KPa	KPa
16	7,3	8,7	110,316272	50,3317991	59,9844729
15	7,4	7,6	103,421505	51,0212758	52,4002292
14,56	6,52	8,04	100,3878075	44,95388084	55,43392668
14,18	6,04	8,14	97,76779606	41,64439268	56,12340338
12,3	5,74	6,56	84,8056341	39,57596258	45,22967152
8,02	3,4	4,62	55,29603134	23,4422078	31,85382354
6,3	3,1	3,2	43,4370321	21,3737777	22,0632544
5,02	2,54	2,48	34,61173034	17,51270818	17,09902216

Fuente: El autor.(Véase ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. , pestaña 3)

Tabla 12 Resultados de pérdidas y factor de fricción tubería 1/2"

PERDIDA POR FRICCION	FACTOR DE FRICCION EXPERIMENTAL	Cabeza de Velocidad	GRADIENTE HIDRAULICO
ΔH_f	F	$v^2/2g$	GH
m		m	
6,937066184	0,240662602	0,514729671	7,62314965
7,021664552	0,24632389	0,509032507	7,71611489
6,979365368	0,253155634	0,492311874	7,66963227
6,330777879	0,255773846	0,441990479	6,95689877
4,97720399	0,232669337	0,381995513	5,46945493
5,583492294	0,288102984	0,346074928	6,13570582
2,862244787	0,286407814	0,178457121	3,14532394
2,467452403	0,278298595	0,15832509	2,71148616

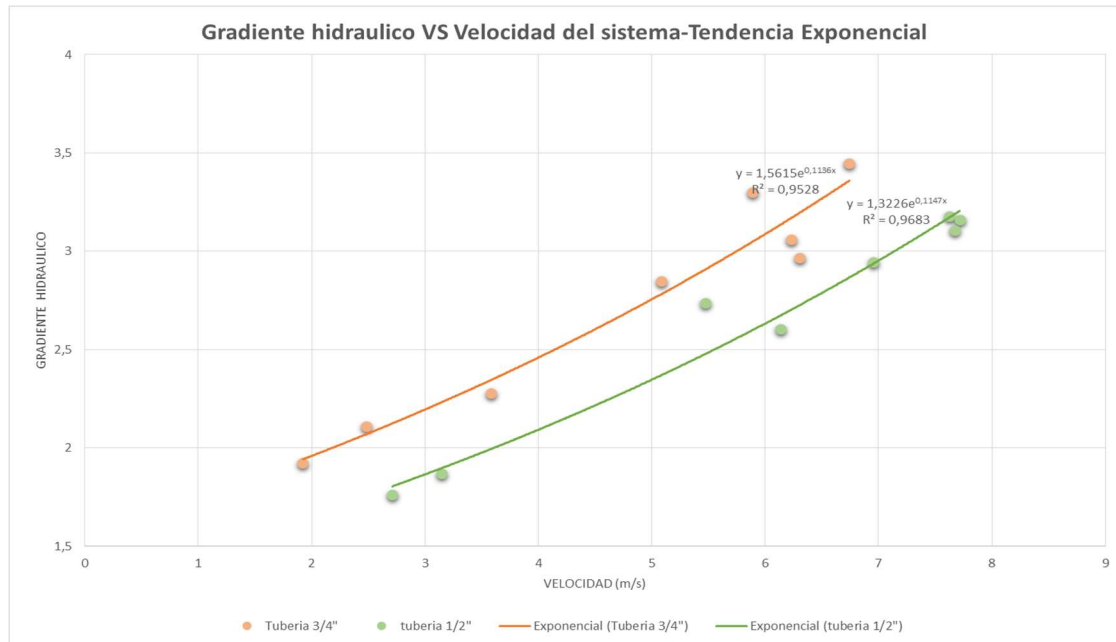
Fuente: El autor.(Véase ANEXO 1 HOJA DE CÁLCULO DE EXCEL , pestaña 3)

Tabla 13 Resultados de pérdidas y factor de fricción tubería 3/4"

PERDIDA POR FRICCION	FACTOR DE FRICCION EXPERIMENTAL	Cabeza de Velocidad	GRADIENTE HIDRAULICO
ΔH_f	F	$v^2/2g$	GH
m		m	
6,133381687	0,258606225	0,605958081	6,73997988
5,357896646	0,246640642	0,555023351	5,88779851
5,668090663	0,303360204	0,477375081	6,22867106
5,738589303	0,327019734	0,448345432	6,30614209
4,624710789	0,285761893	0,413486971	5,08209977
3,257037172	0,314383864	0,264693961	3,57916173
2,255956483	0,254140104	0,226797926	2,47907306
1,748366274	0,236875574	0,188579163	1,92128162

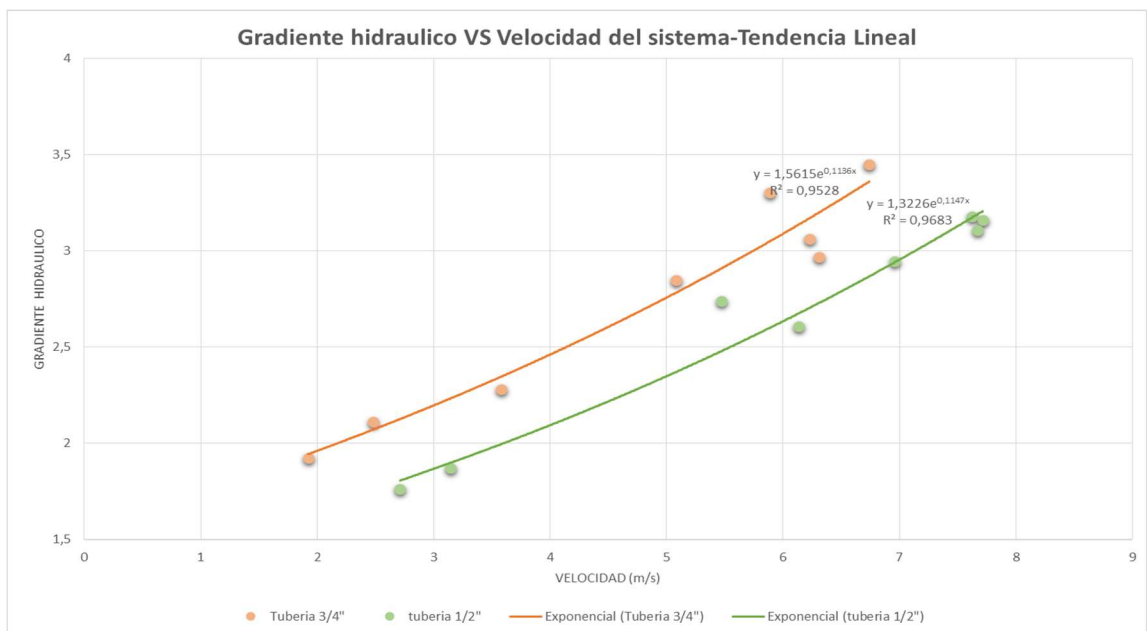
Fuente: El autor.(Véase ANEXO 1 HOJA DE CÁLCULO DE EXCEL , pestaña 3)

Figura 3 Gradiente hidráulico Vs Velocidad del sistema con tendencia exponencial



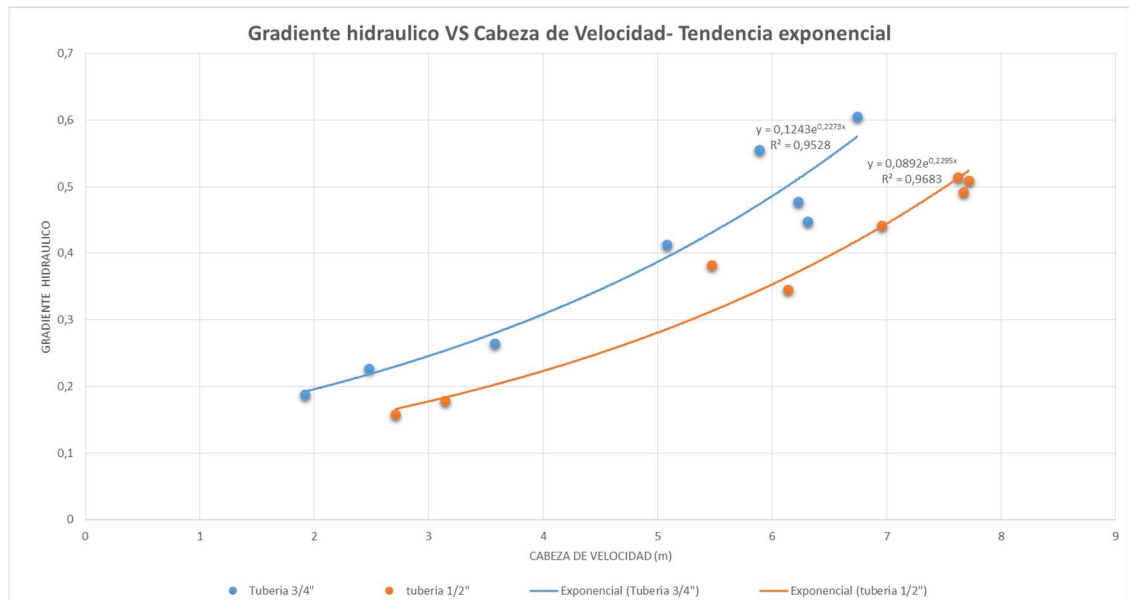
Fuente: El autor.(Véase ANEXO 1 HOJA DE CÁLCULO DE EXCEL , pestaña 3)

Figura 4 Gradiente hidráulico Vs Velocidad del sistema con tendencia lineal



Fuente: El autor.(Véase ANEXO 1 HOJA DE CÁLCULO DE EXCEL , pestaña 3)

Figura 5 Gradiente hidráulico Vs Cabeza de velocidad con tendencia exponencial



Fuente: El autor.(Véase ANEXO 1 HOJA DE CÁLCULO DE EXCEL , pestaña 3)

10.1 EJEMPLO DE CÁLCULOS

Se mostrarán los cálculos por medio de un ejemplo de cada tubería. En este caso el ejemplo será con la válvula totalmente abierta.

Caudal

$$Q = \frac{VOLUMEN}{TIEMPO}$$

$$Q_{1\frac{1}{2}''} = \frac{20,55 \text{ L}}{31,18 \text{ seg}} = 0,659 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 0,000659 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_{1\frac{3}{4}} = \frac{20,55 L}{14,038 seg} = 1,464 \frac{l}{s} = 0,001463 \frac{m^3}{s}$$

Pérdidas de presión

$$\Delta Presion = P1 - P2$$

$$1/2" \rightarrow P1 - P2 = 9,84 psi = 67,845 KPa$$

$$3/4" \rightarrow P1 - P2 = 8,7 psi = 59,984 KPa$$

Pérdidas de fricción en el tramo de 91 cm

$$\Delta H = Hf = \frac{P1 - P2}{\gamma}$$

$$Hf_{1/2"} = \frac{67,845 KPa}{9,78KN/m^3} = 6,937 m$$

$$Hf_{3/4"} = \frac{59,984 KPa}{9,78KN/m^3} = 6,133 m$$

Factor de fricción experimental

$$\Delta H = f \frac{l}{\phi} * \frac{v^2}{2g} = f \frac{l}{\phi^5} * \frac{8 Q^2}{\pi^2 g}$$

$$\rightarrow f = \frac{\Delta H * \theta^5 \pi^2 * g}{8 l Q^2}$$

$$f_{1/2"} = \frac{6,937m * (0,01625m)^5 \pi^2 * \frac{9,81m}{s^2}}{8 * 0,91m * \left(\frac{0,000659m^3}{s}\right)^2} = 0,241$$

$$f_{3/4"} = \frac{6,133 m * (0,02325m)^5 * \pi^2 * \frac{9,81m}{s^2}}{8 * 0,91m * \left(\frac{0,001464m^3}{s}\right)^2} = 0,25$$

Gradiente hidráulico

$$GH_{1/2''} = \frac{Hf}{L} = \frac{6.14}{0.91} = 6.74$$

10.2 PRESIONES Y FACTOR DE FRICCIÓN PARA EL PVC, SEGÚN PAVCO:

Con referencia a la Tabla 4 Pérdidas de presión en m/m tubería PVC se muestra en el recuadro rojo lo siguiente:

- En la tubería de 1/2" con un caudal de 0,3L/s (caudal máximo de los datos experimentales) da a conocer un valor de 0,14m/m para las perdidas por fricción y con un caudal de 0,7 L/s hay un valor de pérdidas de aproximadamente 0,68m/m

Lo anterior se traduce en que para la longitud de tubería utilizada de 0,91m las perdidas mínimas y máximas en la tubería de 1/2" equivaldrían:

$$Hf_{pvc\ Qmin} = \frac{0,14 \frac{m}{m}}{0,91m} = 0,15m$$

$$Hf_{pvc\ Qmax} = \frac{0,7 \frac{m}{m}}{0,91m} = 0,77m$$

- En la tubería de 3/4" con un caudal de 0,8 L/s (caudal máximo de los datos experimentales) da a conocer un valor de 0,23m/m para las perdidas por fricción y con un caudal de 1,5 L/s hay un valor de pérdidas de aproximadamente 0,84 m/m

$$Hf_{pvc\ Qmin} = \frac{0,23 \frac{m}{m}}{0,91m} = 0,25m$$

$$Hf_{pvc\ Qmax} = \frac{0,84 \frac{m}{m}}{0,91m} = 0,92m$$

11 ANALISIS DE RESULTADOS

11.1 CARACTERIZACION DEL BAMBÚ

Los diámetros del bambú en la entrada y salida varían, por tanto en la tubería se observan cambios en la sección transversal. Un ejemplo de ellos es el diámetro interno en la entrada de la tubería de ½" el cual fue de 170 mm y 155 mm en la salida.

Se observó que el bambú consta de orificios comprendidos entre diámetros entre 0,3 y 0,7 mm. Sin embargo fueron cubiertos con pegante instantáneo y bicarbonato de sodio.

11.2 MODELO FUNCIONAL

- Las uniones implementadas en el sistema Bambú-PVC se realizaron por ensayo y error debido a la forma irregular del material. Por lo tanto las uniones universales utilizadas en un principio, no son las adecuadas debido a que su empaque de caucho es de poco espesor y no permite un acople que evite los escapes de agua.
- En la intrusión de los manómetros al sistema al utilizarse collares de derivación, ocasionaban fugas, por tanto para implementar este acople de manera adecuada es necesario usar empaques de poco espesor, como lo son los retazos de neumático para bicicletas
- Cuando el modelo fue puesto en marcha las presiones que superaban los 20-25 psi ocasionaban que los accesorios de acople rápido se desprendieran del sistema. Sin embargo al instalar el modelo a la estructura de soporte el sistema lograba operar sin complicaciones

11.3 PRUEBA PRESION DE AIRE

- Para la prueba de tuberías cercanas a 1" fue necesario usar accesorios de ¾" puesto que el bambú en uno de sus extremos traía consigo un diámetro comparativamente mayor
- Cuando se realizaron las pruebas con el bambú seco se observó que el bambú llegaba a su falla hasta desprender las fibras (de manera longitudinal). Sin embargo hay que tener en cuenta que en esta ocasión se usó un bambú de color más claro y un calibre menor. (Véase Figura 37 Falla de uno de los bambús secos)
- Cuando se realizaron las pruebas con las tuberías humedecidas previamente, llegaban a una mayor presión, sin embargo en los primeros intentos las uniones dresser se desprendían del sistema, ya que no tenían apoyos.
- Las pruebas con la tubería húmeda y con los accesorios fijos (el sistema apoyado a la pared) llegaron hasta una presión máxima de 64 psi.

- La presión máxima con la tubería seca y sin apoyo fue de 30 psi, presión máxima a la que los accesorios de acople rápido salieron del sistema bambú-pvc.
- La presión que soportó el bambú de menor calibre (2 mm) y sin humedecer fue de 16 psi.

11.4 PRUEBA PERDIDAS DE PRESION

- La presión mínima a la entrada de la tubería de $\frac{1}{2}$ " fue de 8,5 psi, lo cual corresponde a una presión de salida de 5 psi. Para esta medida el sistema se trabajó con la válvula lo menos abierta posible
- La presión máxima a la entrada de la tubería de $\frac{1}{2}$ " fue de 26,8 psi, lo cual corresponde a una presión de salida de 16,96 psi. Para esta medida el sistema trabaja con la válvula completamente abierta, que comprende un caudal de 0,66 L/s.
- La presión mínima a la entrada de la tubería de $\frac{3}{4}$ " fue de 5,02 psi, lo cual corresponde a una presión de salida de 2,54 psi. Para esta medida al igual que con la tubería de $\frac{1}{2}$ " el sistema se trabajó con la válvula lo menos abierta posible
- La presión máxima a la entrada de la tubería de $\frac{3}{4}$ " fue de 16 psi, lo cual corresponde a una presión de salida de 7,3 psi. También para este caso el sistema trabajó con el caudal máximo de 1,43 L/s
- La pérdida por fricción mínima del ensayo para la tubería de $\frac{1}{2}$ " fue de 2,4m y la máxima de 6,93m, con caudales de operación mínimos y máximos respectivamente.
- La pérdida por fricción mínima del ensayo para la tubería de $\frac{3}{4}$ " fue de 1,75m y la máxima 6,14m.
- La pérdida por fricción aproximada para el PVC de $\frac{1}{2}$ " en condiciones similares a los ensayos con el bambú fue de 0,14 m la mínima y la máxima de 0,77. (Véase PRESIONES Y FACTOR DE FRICCIÓN PARA EL PVC, SEGÚN PAVCO:)
- La pérdida por fricción mínima aproximada para el PVC de $\frac{3}{4}$ " en condiciones similares a los ensayos con el bambú fue de 0,25 m la mínima y la máxima de 0,92. (Véase PRESIONES Y FACTOR DE FRICCIÓN PARA EL PVC, SEGÚN PAVCO:)
- El gradiente hidráulico máximo obtenido en la tubería de $\frac{1}{2}$ " fue de 7,62 y en la de $\frac{3}{4}$ fue de 6,74 y de que pertenece al caudal máximo y a la presión mínima obtenida.
- Los gradientes hidráulicos mínimos fueron de 2,71 y 1,92 en tubería de $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{4}$ " respectivamente
- Los factores de fricción obtenidos en las pruebas están en un rango entre 0,23 y 0,28 para la tubería de $\frac{1}{2}$ " y entre 0,23 y 0,33 para tuberías de $\frac{3}{4}$ "
- Los factores de fricción obtenidos según la tabla de PVC , fueron de

- En la gráfica Velocidad vs Gradiente hidráulico la tubería se observa un comportamiento que tiende a ser exponencial y lineal. Sin embargo el coeficiente de determinación R^2 al estar más cercano a 1 en la ecuación exponencial se determina que la ecuación que más se ajusta a los resultados es $y = 1,5615e^{0,1136x}$, con un $R^2 = 0,9528$

11.5 PRUEBA DEL MODULO DE ELASTICIDAD PARA EL CALCULO DE LA CELERIDAD.

- La carga máxima que resistió el bambú (sin llegar a rotura) fue de 42kg
- La deformación que se produjo con la carga de 42kg fue de 25,4 mm
- El esfuerzo máximo calculado fue de $1,99 \times 10^6$ KPa
- El módulo de elasticidad obtenido fue de 9×10^6 Kg/m²
- El factor G debido al módulo de elasticidad fue de 110,81. Valor muy cercano a Polietileno de alta densidad el cual es de 111,11
- El cálculo de la celeridad para este material fue de 358,36 m/s

12 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

12.1 PRUEBA DE PRESIÓN DE AIRE:

Con esta prueba se puede dar a conocer sobre los diferentes parámetros que influyen en el bambú cuando está sometido a sobre presiones.

En este caso se puede observar que el bambú en la prueba de aire varía su presión máxima de operación cuando se encuentra húmedo y seco. Esto puede deberse a que las diferentes fibras que tiene el material, específicamente su celulosa al humedecerse se dilata y permite unión húmeda entre esas mismas fibras dándole una quizá una menor tenacidad, pero más flexibilidad.

La presión de aire también varía según el tipo de unión que se usó en el montaje, pues en el caso de la unión dresser se desprendía del sistema antes de la falla del Bambú. Y de esta manera se optó en algunas pruebas fijar el bambú a la pared y determinando así la presión máxima que puede soportar en una operación normal.

- Desventajas y recomendaciones:

Todos los bambús no tienen una sección transversal totalmente redonda, por lo que la salida de aire es un gran inconveniente para la realización

12.2 PRUEBA PARA LAS PERDIDAS DE PRESIÓN.

En el sistema se observa de manera general que la presión máxima a que llega la tubería aproximada a 1/2" a la entrada es de 26,8 psi, con un caudal de 0,66 l/s sin embargo en un tramo de 91 cm existe una pérdida de presión de 9,9 psi, esto se expresa en una pérdida de fricción de 7m.

Los factores de fricción obtenidos para esta tubería varía entre 0,23 y 0,28 que al compararlos con el obtenido con la ecuación de Colebrook and White y con Ks teórico de un tipo de madera en general son relativamente cercanos (0,21 y 0,26).

Esta súbita caída de presión puede deberse al poco recorrido que se tiene en la salida, puesto que el tanque de almacenamiento se encuentra muy cercano a la

tubería de salida y de manera vertical. Sin embargo también podemos deducir que en cuanto a pérdidas de presión el bambú es una desventaja pues en comparación a una tubería de PVC, el orden de las perdidas por fricción de esta tubería suele ser menor que 1 para e diámetro de 1/2". Lo anterior puede ser causa de los nudos y entrenudos que tiene el material, pues si no se perforan lo suficiente. Pueden actuar como accesorios internos, ocasionando estas pérdidas.

El gradiente hidráulico de 2,71 se traduce en que fluido tiene una pérdida de presión del 2,71m en la dirección en que ocurre el flujo.

Una de las ventajas que tiene los resultados de presión de operación del sistema, es que logra con cumplir las presiones mínimas de operación de algunos aparatos como lo son los lavamanos que son de 5kPa (0,725 psi) para los lavamanos o de 7kPa (1,02 psi), pues las obtenidas en el modelo del banco hidráulico están entre 20 y 30 psi. Véase Tabla 2 Caudales y presiones mínimas de los aparatos sanitarios.

De esta manera es posible deducir que podría implementarse en proyectos como los son los parques naturales o algún tipo de construcción ecológica donde se pretenda reemplazar la tubería PVC como material de abastecimiento y así mismo donde la obtención del bambú sea factible a la comunidad, es decir en lugares donde el clima sea templado .

- Desventajas y recomendaciones:

El modelo del banco hidráulico tiene como desventaja que los accesorios implementados al bambú no soportan la presiones mayores a 22 psi , por lo cual se sugeriría investigar o fabricar accesorios adecuados para el bambú. La característica que podrían tener estos accesorios es que sean adaptables a tuberías con irregularidades. Una idea de ello podría ser la unión de un tipo de manguera y con una abrazadera se acoplara al bambú evitando así posibles fugas o que los accesorios se separen del sistema.

Debido a las grandes pérdidas de presión que presenta el sistema no se recomendaría en sistemas de bombeo o donde se requieran grandes presiones o alturas. Sin embargo podría implementarse en un sistema de riego o redes cortas de abastecimiento, como lo serían las viviendas de sectores rurales de un piso.

12.3 PRUEBA DEL MODULO DE ELASTICIDAD PARA EL CALCULO DE LA CELERIDAD.

Al poder determinar la celeridad del material es posible predecir el fenómeno del golpe de ariete en caso de que se llegase a realizar un sistema hidráulico del bambú. Es importante evitar este fenómeno ya es uno de los causantes de los daños de las tuberías.

Con la obtención del módulo de elasticidad es posible comparar el coeficiente G (o también simbolizado K) con el de una tubería de Polietileno de alta densidad pues sus valores son relativamente cercanos: 110,81 para el bambú y 111,11 para el PEAD

Según los datos obtenidos con el Modulo de elasticidad el cual fue de $9 \times 10^7 \text{ Kg/m}^2$ valor el cual corresponde a la carga aplicada máxima de 41 kg en el centro del Bambú , quien no se llevó al punto de falla debido a que en el laboratorio no había la posibilidad

La celeridad obtenida para el bambú fue de 358,35 m/s. Dato que aporta a los cálculos de golpe de ariete, sin embargo para llegar a indagar sobre este fenómeno es necesario realizar una investigación más profunda.

12.4 RECOMENDACIONES Y MEJORAS

La investigación del bambú como tubería de abastecimiento podría continuar con la búsqueda del tipo de productos químicos o aditivos podrían implementarse para mejorar su función como tubería. En lo posible añadir componentes que hagan posible el mantenimiento o mejora de las propiedades del agua.

Así mismo, en base a investigaciones previas de este material (véase sección 5.3) es posible hallar un método para modificar sus características físicas para facilitar el tipo de uniones o accesorios adecuados para la instalación de algún sistema de abastecimiento.

Es posible indagar sobre los accesorios que podrían diseñarse para adaptar el sistema del bambú, ya sean del mismo material o de otro. En el primer caso el mayor reto seria el crear un proceso de moldeado del bambú para los accesorios o con la búsqueda de pegantes o epóxicos que permitan la unión hermética del sistema con los bambús seccionados en partes sin necesidad de modificar su estructura generando así accesorios.

El diseño y construcción de una patente seria procedente para continuar con el escudriñamiento del bambú pues de esta manera se determinarían otras variables como lo son el ciclo de vida o el comportamiento que presentaría la tubería en una red de abastecimiento a corta escala.

BIBLIOGRAFÍA

Schlichting, Herrmann y Gersten , Klaus. 2000. Nuclear Power. *Boundary-Layer Theory, Springer-Verlag* . [En línea] 2000. <https://www.nuclear-power.net/nuclear-engineering/fluid-dynamics/reynolds-number/>.

Alamy. 2010. [En línea] 2010. <https://www.alamy.com/stock-photo/aqueduct-illustration.html> .

ASHM, Aceros y Sistemas Hidráulicos de México S.A. de C.V. 2015. ASHM, Aceros y Sistemas Hidráulicos de México S.A. de C.V. [En línea] 2015. <http://www.ashm.mx/blog/perdida-de-presion-a-traves-de-la-tuberia/> .

Borthakur. 1992. *Source*. 1992.

CARDENAS, CARLOS y RINCON, CARLOS. 2016. Numbers Magazine. [En línea] 01 de JULIO de 2016. <http://numbersmagazine.com/articulo.php?tit=la-ca%C3%B1a-guadua-como-material-de-construccion-sostenible>.

CIDIA. 1985. *Técnicas de producción de leña en fincas pequeñas*. Turrialba : Catie Turrialba, 1985.

Dabral, P. P. 2002. *Indigenous Techniques of Soil and Water Conservation in North Eastern Region of India*. Beijing : s.n., 2002.

David, Meadows. 2010. ROGUECLASSICISM. [En línea] 14 de JULIO de 2010. <https://rogueclassicism.com/2010/07/14/roman-aqueducts-and-bamboo/>.

Easy. 2019. Electrobomba Centrifuga 1/2 Hp Monofasica 110/220v Pearl. *Easy*. [En línea] 2019. <https://www.easy.com.co/> .

Ing. Rodriguez, Juan Carlos. 2006. *El Bambú como Material de Construcción*, Conciencia Tecnológica No. 31, págs. 1-3.

El semillero. s.f. Elsemillero.net. [En línea] s.f. <http://elsemillero.net/nuevo/semillas/guadua1.html> .

elempresario.mx, Redaccion. 2017. elempresario.mx. [En línea] 26 de octubre de 2017. <http://elempresario.mx/emprendedores/bambu-apunta-alto>.

Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real. s.f. Cátedra de Ingeniería Rural. [En línea] s.f. https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Trans_hidr/Tema10.PDF.

Green Rural Development :Story. 2011. Centre for Science and Environment. *Bamboo Drip Irrigation*. [En línea] 29 de JULIO de 2011. www.cseindia.org/bamboo-drip-irrigation-2839.

Huazheng. 2017. 图文：一根竹子带来“管道革命”. [En línea] 2017. http://www.xinhuanet.com/local/2017-04/19/c_129549841.htm .

IDRD. REDES HIDRAULICAS. www.idrd.gov.co. [En línea] <https://www.idrd.gov.co/especificaciones/CAP8REDESHIDRAULICAS.pdf> .

Industriales, E.T.S Ingenieros. 2004-2005. PRACTICAS DE MECANICA DE FLUIDOS. *PERDIDAS DE CARGA* . [En línea] 2004-2005. file:///C:/Users/sala1/Downloads/perdida_de_carga.pdf.

Inuca, Benjamin y Rios, Ronie. s.f. Construcciones en Bambú. [En línea] s.f. <https://sites.google.com/site/redhazewiththewidow/portofolio/que-es-el-bambu>.

Jacob Nitya. 2011. Shillong: Betelnuts and bamboos. [En línea] 21 de Mayo de 2011. http://www.jalyatra.com/chapters/shillong_final.pdf.

Juan, Saldarriaga. 2001. *HIDRAULICA DE TUBERIAS*. s.l. : McGRAW-HILL INTERAMERICANA, 2001.

Maderero, DFM Directorio Forestal. 2016. Forestal Maderero. [En línea] 2016. <https://www.forestalmaderero.com/articulos/item/la-historia-de-bambu.html>.

Manual Tecnico de Tubosistemas de presion PVC. **PAVCO. 2014.** s.l. : Mexichem, 2014.

Martinez, Samuel. 2015. BAMBÚ COMO MATERIA LESTRUCTURAL: GENERALIDADES. [En línea] 2015. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/55983/MARTINEZ%20-%20Bamb%C3%BA%20como%20material%20estructural%3A%20Generalidades%2C%20aplicaciones%20y%20modelizaci%C3%B3n%20de%20una%20est....pdf?sequence=1>.

Meadows, David. 2010. rogueclassicism. [En línea] 2010. <https://rogueclassicism.com/2010/07/14/roman-aqueducts-and-bamboo/>.

MOTT, Robert L. 2006. *Mecanica de fluidos*. s.l. : Pearson Education, 2006.

NADAR, SOLOMON, LALOO, CHRISTOPHER y PRAKASH, MISHRA. 2006. Indian Journal of Traditional Knowledge. [En línea] JANUARY de 2006. [http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/6792/1/IJTK%205\(1\)%20\(2006\)%207-18.pdf](http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/6792/1/IJTK%205(1)%20(2006)%207-18.pdf).

NTC 1500. 2004. *Código colombiano de fontanería*. Bogotá : ICONTEC, 2004.

NTC 382. 2011. *Tubos de policloruro de vinilo (PVC), clasificados según la presión (Serie RDE)*. s.l. : ICONTEC, 2011.

Ordoñez, Victor, Mejía, Dra. Teresa y Dra. Guadalupe , Barcenás . 2002. Manual para la construcción sustentable. [En línea] 2002. https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/documentos/MANUAL_PARA_LA_CONSTRUCCION_SUSTENTABLE_CON_BAMBU.PDF.

Otálora, Harry. 2016. *Desarrollo de Material compuesto a base de Guadua Angustifolia para aplicaciones Estructurales*. Bogotá : Universidad de Los Andes, 2016.

Ravindra, Krishnamurthy. s.f. Permaculture Research Institute. *BAMBOO DRIP IRRIGATION*. [En línea] s.f. <https://permaculturenews.org/2014/02/28/bamboo-drip-irrigation/>.

S.A.S., Fibras y Normas de Colombia. Blog fibras y normas de colombia. [En línea] <https://www.fibrasynormasdecolombia.com/terminos-definiciones/caudal-definicion-y-metodos-de-medicion/> .

Sanchez, Javier. s.f. Universidad Salamanca. [En línea] s.f. <http://hidrologia.usal.es>.

Shames, I.H. Mecanica de Fluidos . s.l. : McGraw-Hill.

Streeter, Victor L., Wylie E., Benjamin y Bedford, Keith W. 1999. EXPERIMENTO DE RUGOSIDAD DE NIKURADSE. *MECANICA DE FLUIDOS*. 1999.

TLV Compania especialista en vapor. 2017. TLV. [En línea] 2017. <https://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/what-is-waterhammer.html>.

Valvias. 2007. Valvias. *El portal de Válvulas y Actuadores* . [En línea] 2007. <http://www.valvias.com/sobre-valvias.php> .

Ware, Open Course. Conducciones cerradas. *Ware, Open Course*. [En línea] http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%202.Conducciones%20forzadas/tutorial_04.htm.

ANEXOS

ANEXO 1 HOJA DE CÁLCULO DE EXCEL

Documento disponible en: [ANEXO 1 MEMORIA DE CALCULOS.xls](#)

1.1. CÁLCULO DE PERDIDAS EXPERIMENTALES

Tabla 14 Cálculos de perdidas experimentales tubería de ½”

TUBERIA 1/2 IN														
DIAMETRO INTERNO (cm) Promedio (cm) Promedio (m)	ENTRADA	SAIDA			LONGITUD(m)		0,91							
	1,7	1,5												
	1,7	1,6	DIAMETRO	AREA										
	1,7	1,55	1,625	2,07394203										
	0,017	0,0155	0,01625	0,00020739										
CÁLCULO DE PRESIONES Y PERDIDA DE PRESION														
									DATOS AGUA			PERDIDA POR FRICCION	FACTOR DE FRICCION EXPERIMEN TAL	
DATO	TIEMPOS	CAUDAL	PRESION 1	PRESION 2	Δ PRESION	PRESION 1	PRESION 2	Δ PRESION	TEMPERAT URA	PESO ESPECIFICO	VISCOSIDAD CINEMATICA	Δ Hf	F	
	seg	l/s m³/s	psi	psi	psi	KPa	KPa	KPa	°C	KN/m3	m2/s	m		
1	31,18	0,65907633	0,000659076	26,8	16,96	9,84	184,7797556	116,9352483	67,84450728	20	9,78	1,02E-06	6,937066184	0,2406626
2	31,354	0,65541877	0,000655419	26,46	16,5	9,96	182,4355348	113,7636555	68,67187932	20	9,78	1,02E-06	7,021664552	0,24632389
3	31,882	0,64456433	0,000644564	26	16,1	9,9	179,263942	111,0057487	68,2581933	20	9,78	1,02E-06	6,979365368	0,25315563
4	33,648	0,61073466	0,000610735	23,88	14,9	8,98	164,647036	102,7320283	61,91500766	20	9,78	1,02E-06	6,330777879	0,25577385
5	36,194	0,56777366	0,000567774	19,98	12,92	7,06	137,7574447	89,08038964	48,67705502	20	9,78	1,02E-06	4,97720399	0,23266934
6	38,026	0,54041971	0,00054042	18,94	11,02	7,92	130,586887	75,98033234	54,60655464	20	9,78	1,02E-06	5,583492294	0,28810298
7	52,954	0,38807267	0,000388073	9,9	5,84	4,06	68,2581933	40,26543928	27,99275402	20	9,78	1,02E-06	2,862244787	0,28640781
8	56,22	0,36552828	0,000365528	8,5	5	3,5	58,6055195	34,473835	24,1316845	20	9,78	1,02E-06	2,467452403	0,2782986

Tabla 15 Cálculos de perdidas experimentales tubería de 3/4”

TUBERIA 3/4 IN														
DIAMETRO INTERNO (cm)	ENTRADA		SAIDA		LONGITUD(m)		0,91							
	2,5	2,2												
	2,45	2,15	DIAMETRO		AREA									
	Promedio (cm)	2,475	2,175	2,325	4,24556795									
Promedio (m)	0,02475	0,02175	0,02325	0,00042456										

1.2. CÁLCULOS DE PERDIDAS TEÓRICAS

Tabla 16 Cálculos de pérdidas teóricas por Colebrook

C	Viscosidad		1,14E-06										
	Ks (m)		5,00E-03	https://previa.udcm.es/area/ing_rural/Hidraulica/Temas/TablaRugosidadAbsolutaMateriales.pdf									
TUBERIA 1/2"													
DATO	Caudal (l/s)	Caudal (m3/d)	diametro (m)	L (m)	Area (m2)	Velocidad (m/Ks/d)	Re	f semilla	f2	Difere	Hf		
1	0,65907633	0,00065908	0,01625	0,91	0,0002074	3,17789178	3,08E-01	4,53E+04	0,2145490	0,2145491	0,000000	6,18434807	
2	0,65541877	0,00065542	0,01625	0,91	0,0002074	3,16025597	3,08E-01	4,50E+04	0,2145507	0,2145505	0,000000	6,115937521	
3	0,64456433	0,00064456	0,01625	0,91	0,0002074	3,10791875	3,08E-01	4,43E+04	0,2145549	0,2145547	0,000000	5,915157813	
4	0,61073466	0,00061073	0,01625	0,91	0,0002074	2,94480105	3,08E-01	4,19E+04	0,2602847	0,2602847	0,000000	6,442426989	
5	0,56777366	0,00056777	0,01625	0,91	0,0002074	2,73765446	3,08E-01	3,90E+04	0,2145891	0,2145890	0,000000	4,590433639	
6	0,54041971	0,00054042	0,01625	0,91	0,0002074	2,60576094	3,08E-01	3,71E+04	0,2146037	0,2146036	0,000000	4,159058995	
7	0,38807267	0,00038807	0,01625	0,91	0,0002074	1,87118378	3,08E-01	2,66E+04	0,2147222	0,2147223	0,000000	2,14584823	
8	0,36552828	0,00036553	0,01625	0,91	0,0002074	1,76248071	3,08E-01	2,51E+04	0,2147483	0,2147482	0,000000	1,9040019	
										sumatoria		0,000001	
=													
TUBERIA 3/4"													
DATO	Caudal (l/s)	Caudal (m3/d)	diametro (m)	L (m)	Area (m2)	Velocidad (m/Ks/d)	Re	f semilla	f2	Difere	Hf		
1	1,46388374	0,00146388	0,02325	0,91	0,0004246	3,44802807	2,15E-01	7,03E+04	0,1639113	0,1639113	0,000000	3,887496654	
2	1,401009	0,00140101	0,02325	0,91	0,0004246	3,29993305	2,15E-01	6,72E+04	0,1639189	0,1639192	0,000000	3,560897471	
3	1,29931715	0,00129932	0,02325	0,91	0,0004246	3,06040832	2,15E-01	6,24E+04	0,1639333	0,1639335	0,000000	3,062991532	
4	1,25919118	0,00125919	0,02325	0,91	0,0004246	2,96589571	2,15E-01	6,04E+04	0,1639397	0,1639397	0,000000	2,876838017	
5	1,20925032	0,00120925	0,02325	0,91	0,0004246	2,84826515	2,15E-01	5,80E+04	0,1639479	0,1639481	0,000000	2,653302098	
6	0,96751412	0,00096751	0,02325	0,91	0,0004246	2,27888032	2,15E-01	4,64E+04	0,1640006	0,1640009	0,000000	1,699060212	
7	0,89558093	0,00089558	0,02325	0,91	0,0004246	2,10944905	2,15E-01	4,30E+04	0,1640221	0,1640221	0,000000	1,455995349	
8	0,81664282	0,00081664	0,02325	0,91	0,0004246	1,92351844	2,15E-01	3,92E+04	0,1640498	0,1640497	0,000000	1,210842407	
										sumatoria		0,000001	

1.3. CÁLCULO DE CELERIDAD

Tabla 17 Módulo de elasticidad para celeridad

[illegible]

ANEXO 2 MODELO BANCO HIDRÁULICO

Documento disponible en:

Formato dwg: [ANEXO 2.1 Modelo Proyecto de Grado.dwg](#)

Formato pdf: [ANEXO 2.2 Modelo Proyecto de Grado.pdf](#)

ANEXO 3 ANTEPROYECTO DE GRADO

Documento disponible en: [ANEXO 3 ANTEPROYECTO.docx](#)

ANEXO 4 VIDEOS DEL FUNCIONAMIENTO BANCO HIDRAULICO

- Video donde se muestra el banco hidráulico en funcionamiento de la tubería de $\frac{3}{4}$ " con un caudal máximo aproximadamente (Válvula abierta en un 90%). Disponible en: [ANEXO 4 VIDEOS\BANCO HIDRAULICO TUB. 1 CAUDAL MAX.mp4](#)
- Video donde se muestra el banco hidráulico en funcionamiento de la tubería de $\frac{3}{4}$ " con un caudal mínimo aproximadamente (válvula con poca abertura). Disponible en: [ANEXO 4 VIDEOS\BANCO HIDRAULICO TUB. 1 CAUDAL MIN.mp4](#)
- Video donde se muestra uno de los ensayos de presión de aire con los accesorios sin fijar. Disponible en: [ANEXO 4 VIDEOS\PRUEBAS DE PRESION DE AIRE SIN APOYO .mp4](#)
- Video donde se muestra uno de los ensayos de presión de aire con los accesorios fijos por medio del apoyo del sistema a la pared. Disponible en: [ANEXO 4 VIDEOS\PRUEBAS DE PRESION DE AIRE SISTEMA FIJO.mp4](#)